

Metrologia – Uma Especialidade do Ensino Politécnico

A Metrologia em Laboratório Fabril

Carlos Sousa

Setembro de 2011

À memória de meus Pais.

À minha Família, com especial carinho à Maria

e

Agradeço a Deus!

ÍNDICE

	Título	Página
	Nomenclatura	7
1	Objectivo deste trabalho	9
2	Preâmbulo (o despertar para a Metrologia)	9
3	Introdução – A Metrologia (dos ensaios de materiais à calibração)	10
4	Definições fundamentais	12
4.1	Metrologia	12
4.2	Calibração	12
4.3	Rastreabilidade	13
4.4	Confirmação Metrológica	16
5	Sistema Internacional de Unidades (SI)	18
5.1	Generalidades acerca do SI	18
5.2	A evolução do SI	18
5.3	O Decreto-Lei 128/2010	19
5.4	Pontos relevantes do Decreto-Lei 128/2010	20
5.4.1	Utilização das unidades de medida não legais	20
5.4.2	Âmbito do Decreto-Lei nº 128/2010	20
5.4.3	O grande embuste (Monsieur Litre)	20
6	Sistema de Gestão do LABORATÓRIO ISO 17025	21
6.1	Referencial geral da qualidade – ISO 9001	21
6.2	Sistema de gestão da medição – ISO 10012	22
6.3	A ISO 17025 perante a ISO 9001 e a ISO 10 012	24
6.4	As regras de bom senso	24
6.5	Aquisição de equipamento de medição	26
6.5.1	Deteção da necessidade de medição	26
6.5.2	Características do equipamento de medição	27
6.5.3	A selecção do EM	28
6.5.3.1	Factores de decisão para a selecção	28
6.5.4	A Aquisição	29
6.5.4.1	Caderno de encargos	29
6.5.4.2	Análise de propostas e escolha	33
6.5.4.3	Recepção, instalação e arranque	34
6.6	Gestão de recursos	34
6.6.1	Recursos humanos	34
6.6.1.1	Programa de formação	34
6.6.2	Recursos relativos à informação	35
6.6.2.1	Procedimentos	35
6.6.2.2	Software	35
6.6.2.3	Registos	35
6.6.2.3.1	Registos associados ao EM	35
-----	Registos do processo de confirmação metrológica	36
-----	Evidência da confirmação metrológica	37
-----	Etiquetas de confirmação metrológica	38
6.6.3	Recursos materiais	39
6.6.3.1	Equipamentos de medição	39
6.6.3.2	Instalações e condições ambientais	40
6.7	Métodos de ensaios e calibração	41
6.7.1	Procedimentos	41

ÍNDICE

	Título	Página
6.8	Incertezas nas medições	41
6.9	Verificações intermédias do EM	42
6.9.1	Verificação – conceito genérico	42
6.9.2	Verificações entre calibrações	43
6.10	Confirmação Metrológica	44
6.10.1	Confirmação Metrológica no LABORATÓRIO	44
6.10.2	Decisões após confirmação	44
6.11	Intervalo entre calibrações / confirmações	46
6.11.1	Em busca da optimização para os intervalos entre calibrações	46
6.11.2	Informação acerca dos equipamentos de medição	47
6.11.3	Métodos de optimização dos intervalos de calibração	48
6.11.4	Resumo dos métodos	51
6.12	Apresentação dos resultados (certificados de calibração)	52
6.12.1	Requisitos ISO 17025 para os certificados de calibração	52
6.12.2	Informação do estado do EM antes de ajuste	53
6.12.3	Emendas nos certificados de calibração	55
6.12.4	Certificados conclusivos e não conclusivos	56
6.13	Plano de Calibração	56
6.14	Equipamento não conforme	58
6.15	Auditorias ao sistema de gestão do EM	58
7	Processos	60
7.1	Processo de “Seleção e aquisição do equipamento de medição e serviços relacionados”	60
7.2	Processo de “Recepção e identificação do equipamento de medição”	61
7.3	Processo de “Confirmação Metrológica”	62
7.4	Processo “Definição do intervalo entre calibrações”	63
7.4.1	Princípio para definição do intervalo inicial	63
7.4.2	Princípio para revisão do intervalo	63
7.4.3	Regra geral para revisão do intervalo	63
7.5	Processo “Recuperação de EM não conforme”	66
7.6	Processo “Calibração (externa e interna)”	68
7.7	Processo “Estimativa de incerteza”	69
8	Conclusões	73
	Referências	75
	Anexos	77

NOMENCLATURA

APQ – Associação Portuguesa para a Qualidade
ASAE - Autoridade de Segurança Alimentar e Económica
BIPM – Bureau International de Poids e Mesures
CATIM – Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica
CE - Conformidade Europeia
CEM - Características de medição do equipamento
CEN - Comité Europeu de Normalização
CENELEC – European Committee for Electrotechnical Standardization
CGPM – Conferência Geral de Pesos e Medidas
CIPM – Conferência Internacional de Pesos e Medidas
CMC - Chemistry, Manufacturing & Control
CME – Características metrológicas do equipamento
CNQ – Conselho Nacional da Qualidade (extinto em 2002)
CT – Comissão Técnica (de normalização)
DEMec – Departamento de Engenharia Mecânica (da FEUP)
DMM – Dispositivo de Monitorização e Medição (em desuso desde 2008)
EM – Equipamento de Medição
EMA – Erro Máximo Admissível
EMM – Equipamento de monitorização e Medição
EMU – Exigências metrológicas do utilizador
EURACHEM - Associação de Laboratório Químico-Analíticos da Europa
FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
GUM - Guide to the expression of uncertainty in measurement
IEC - International Electrotechnical Commission
IPAC – Instituto Português de Acreditação
IPQ – Instituto Português da Qualidade
ISO – International Standard Organization
NP – Norma Portuguesa
OGC001 – Guia do IPAC “Guia para a aplicação da NP EN ISO/IEC 17025”
OIML – Organização Internacional de Metrologia Legal
SI – Sistema Internacional de Unidades
SPQ – Sistema Português da Qualidade
VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia
VMA – Valor Máximo Aceitável (de um erro)

1 - Objectivo deste trabalho

Este trabalho tem como principal objectivo evidenciar que o autor tem perfil profissional que permite que seja considerado como um especialista em Metrologia.

Para tal, é aqui relevada a experiência adquirida:

- em actividades anteriores relacionadas com ensaios, onde a medição era uma constante e onde o autor sentiu a necessidade de aprofundar os seus conhecimentos da ciência da Medição – a Metrologia;
- em actividades directamente associadas à Metrologia, quer como director de um laboratório de Metrologia Industrial, quer como auditor de laboratórios de metrologia e ensaios.

A actividade relacionada com o ensino da Metrologia em acções de formação profissional (indústria) e no ensino regular no ISEP (em cursos do Departamento de Engenharia Mecânica e em cursos do Departamento de Física) também é considerada relevante para solidificação de conceitos metrológicos.

Finalmente, considera-se também importante fazer registo da actividade desenvolvida como auditor de Laboratórios de Ensaio e de Calibração, há perto de 20 anos, inicialmente como auditor do Instituto Português da Qualidade e, desde 2004, como auditor do Instituto Português de Acreditação.

A escolha de um modelo de gestão da medição num laboratório industrial é considerada como apropriada, dado que se irá falar de toda a envolvente metrológica, nomeadamente da estimativa de incertezas nas calibrações e ensaio.

Neste texto dá-se preferência a um corpo com elementos básicos acerca da gestão da medição numa organização (um laboratório de empresa industrial), sendo apresentado em anexos quando o conteúdo for considerado específico em domínio de cariz técnico.

2 - Preâmbulo (o despertar para a Metrologia)

Neste trabalho é utilizada terceira pessoa para referir Carlos Sousa, que aqui será tratado por “autor”.

O autor começou a sua vida profissional em 15 de Junho de 1959, então com funções administrativas na Venerável Irmandade de Nossa Senhora da Lapa, no Porto. A formação académica que o autor então estava a adquirir era da área comercial, pelo que quando iniciou a vida profissional já se encontrava a estudar à noite na então Escola Comercial Oliveira Martins. Algumas actividades administrativas cruzavam-se com tarefas de índole técnica, tais como estudo do valor a debitar pelo uso de oxigénio nos pacientes em tratamento do Hospital da Irmandade da Lapa, recorrendo a cálculos de caudal e quantidade de oxigénio existente nas garrafas de gás fornecidas pela empresa Arlíquido. Esse estudo foi realizado pelo autor e passou a ser feita uma cobrança mais justa do custo de oxigénio consumido pelos pacientes. Outro estudo que o autor então fez, foi a definição do volume de uma gota de soro fisiológico de modo a que os enfermeiros rapidamente definissem o caudal de soro a ministrar, contando o número de gotas que ocorriam em cada minuto. Foi então detectado que esse estudo só era aplicável para o fluído estudado, tomando o primeiro contacto com questões associadas à viscosidade e à tensão superficial.

Na Escola Oliveira Martins o autor tinha especial agrado no estudo das disciplinas de Física e Química e de Mercadorias (onde se estudavam os produtos considerados mais importantes nas actividades comerciais, desde a extracção do ferro à constituição química dos açúcares).

Nas actividades profissionais que desenvolveu houve uma delas que teve grande influência no estudo de engenharia e no carinho que foi dedicando à Metrologia (palavra que não era muito utilizada). Essa actividade foi a de responsável pelo serviço de compras de uma empresa têxtil em Águas Santas, Maia. Como não existia um serviço organizado de manutenção¹, o serralheiro Sr. Domingos era quem resolvia quase todos os problemas de paragens de máquinas de tinturaria, de acabamentos têxteis e de confecção de alcatifa *non-woven* (não tecido). Mas muitas das situações mais complicadas eram resolvidas pelo autor, geralmente em situações de manutenção puramente curativa², dado que, geralmente, estava envolvida a compra de bens ou serviços necessários para as reparações, as quais eram sempre consideradas “sangria desatada”. Competia ao autor todos os contactos com as empresas e profissionais que assistiam os equipamentos. No entanto, foi nesta empresa que o autor teve o primeiro contacto com a manutenção preventiva. A caldeira que alimentava a fábrica (o vapor era essencial para o funcionamento das máquinas de tinturaria e das râmulas), teve uma pequena rotura num dos “tubos de fogo” cujo aquecimento era feito por queimadores de fuelóleo – um autêntico desastre para uma fábrica onde o coração era a caldeira. Felizmente que se estavam a iniciar as férias anuais onde se realizava a manutenção preventiva que já existia e foi possível contratar uma empresa que fez, em tempo record, a substituição do tubo danificado. Foi feito um estudo acerca de como assegurar que este tipo de acidente não voltaria a acontecer e foi planeado um tratamento da água de alimentação da caldeira para que não provocasse corrosão nos tubos. Definiu-se uma periodicidade para inspecção dos tubos (a parte exterior desses tubos estava sujeita à acção da água). O plano foi aplicado com sucesso.

Nessa mesma fábrica colaborou com o laboratório de ensaios químicos existente na empresa em estudos de ciclos de temperatura para tingimentos. Era já uma aplicação de parâmetros associados a conceitos metrológicos (temperatura, tempo, massa de produtos de tingimento).

3 – Introdução – A Metrologia (dos ensaios de materiais à calibração)

Em 1975 o autor, então como funcionário do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMec) da Faculdade de Engenharia do Porto (FEUP) tinha a seu cargo realização de múltiplos ensaios de materiais (ensaios de tracção, dureza, impacto, metalográficos, de tenacidade, de fadiga, etc.), pelo que era cada vez mais percepcionado que as medições eram sempre motivo para duvidar dos resultados – era o despertar definitivo para a Metrologia. Foi nos anos oitenta que, entretanto licenciado em Engenharia Mecânica e já como Assistente de Investigação, participou em projectos de investigação aplicada dos quais resultaram várias publicações das quais o autor foi participante activo³.

Merece referência especial um trabalho em que o autor participou, tendo a seu cargo a realização da generalidade dos ensaios e medições, que consistiu em desenvolver um método para

¹ Estávamos em 1970 e mesmo indústrias de razoável envergadura faziam aquilo que se pode dizer “navegação à vista”.

² Deve fazer-se notar que havia alguma actividade de manutenção preventiva para o que se parava a fábrica durante duas semanas, em Agosto para substituição de algumas peças geralmente segundo instruções dos fabricantes das máquinas.

³ Ver curriculum vitae

determinar *a posteriori* as tensões a que estavam submetidos parafusos de aço inoxidável quando fracturaram. O acidente ocorreu na Central Hidráulica da Aguieira onde existiam 2 grupos de geradores accionados por turbinas Francis que têm um cone de aço ao carbono acoplado, sendo a ligação feita por 24 parafusos M24. Por indicação do fabricante os parafusos iniciais eram de aço 8.8 DIN 267, o que levantava problemas de desmontagem provocados pela corrosão dos parafusos, pelo que se pediu à empresa fornecedora das turbinas a substituição dos parafusos por outros de aço inoxidável, tendo a empresa concordado com essa substituição. O cone foi então fixo com parafusos AISI D 319, tendo fracturado 19 dos 24 parafusos após um curto período de trabalho (menos de 400 horas!). O estudo aqui referido levou à conclusão de que é possível determinar a tensão a que o elemento esteve sujeito durante o processo de desenvolvimento da fenda de fadiga. O autor realizou o primeiro estudo em relatório académico [1]. Este estudo foi realizado com tratamento de dados em computador Spectrum 48K, o que pode ser considerado como um marco de viragem para tratamento de dados por via informática. Posteriormente foram desenvolvidos mais estudos e feita uma publicação assinada pelo Professor Viriato Antunes e pelo autor [2].

O trabalho permitiu detectar que o limite de elasticidade dos parafusos de aço inoxidável era pouco superior às tensões a que estavam submetidos, o que justificava a fácil iniciação da fenda de fadiga. Foi proposta a substituição dos parafusos por outros, também inoxidáveis, mas martensíticos, após o que as turbinas passaram a funcionar normalmente.

Recentemente, em Setembro de 2010, o autor teve oportunidade de visitar a Central da Aguieira durante uma paragem para manutenção, onde se constatou que as turbinas têm trabalhado em perfeitas condições, não havendo registo de mais acidentes após o que se registou nos anos 80 do século XX (na figura 1 podem ver-se os 24 parafusos de fixação).



Figura 1 – Parafusos do cone da turbina Francis intervencionada em 1984 (foto tirada em 2010)

Em 1989 o autor defendeu em provas públicas um trabalho denominado *Estudo da Tenacidade de Dois Aços de Construção Dúcteis* [3]. O Júri destas provas (de que foi arguente o Professor António Morão Dias) classificou este trabalho, por unanimidade, como Muito Bom.

Este trabalho consistiu na participação da FEUP num *Round Robin* para determinação de curvas de resistência, coordenado pelo Welding Institute e GKSS. Em Portugal o projecto estava sob a responsabilidade do Professor Paulo Tavares de Castro e deu lugar ao relatório acima referido, que contribuiu para o relatório final da FEUP para o referido *Round Robin* [4].

O resultado do *Round Robin* foi publicado em 1993 na revista *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures* [5].

O trabalho acima referido foi uma aplicação intensiva de técnicas de medição indirecta, tendo na ocasião havido lugar, entre os participantes naquele trabalho, a longas discussões acerca de conceitos de correcta representação das unidades, erro, exactidão, precisão (ou fidelidade), repetibilidade e outros conceitos hoje muito estudados e compreendidos.

Em 1990 o autor entra definitivamente no mundo da Metrologia como director do Laboratório de Metrologia Industrial do CATIM. Nessa qualidade passa a participar de comissões técnicas de normalização e de metrologia, onde sobressai a actividade desenvolvida na Comissão Permanente para a Metrologia do Conselho Nacional da Qualidade, tendo vindo a ser o Presidente dessa comissão.

Foi também, a partir de 1993, que o autor foi solicitado a realizar auditorias a laboratórios de metrologia e, posteriormente, a laboratórios de ensaio, inicialmente como auditor técnico e posteriormente como auditor coordenador.

De então até hoje a metrologia tem sido a ocupação principal do autor.

4 – Definições fundamentais

4.1 – Metrologia

A Metrologia, ciência da medição, é ainda para muitos académicos (mesmo a nível universitário) uma desconhecida. No entanto, todas as ciências de engenharia se estruturam na Metrologia.

Metrologia / Metrology / Métrologie - Ciência da medição e suas aplicações

NOTA - A metrologia compreende todos os aspectos teóricos e práticos da medição, qualquer que seja a incerteza de medição e o domínio de aplicação.

Vocabulário Internacional de Metrologia de 2008 – IPQ [6]

Uma breve abordagem à história e actual situação europeia da Metrologia está condensada no Anexo 1 e, no Anexo 2, faz-se uma breve introdução ao Sistema Português da Qualidade (SPQ), do qual a Metrologia é um dos 3 sub-sistemas (Qualificação, Normalização e Metrologia).

4.2 – Calibração

DEFINIÇÃO

Calibração / calibration / étalonnage

Operação que, em condições especificadas, num primeiro passo, estabelece a relação entre os valores da grandeza com incertezas de medição provenientes de padrões e as indicações correspondentes com incertezas de medição associadas e, num segundo passo, usa esta informação para estabelecer uma relação para obter o resultado de medição de uma indicação.

NOTA 1 Uma calibração pode ser expressa sob a forma de um enunciado, uma função de calibração, um diagrama de calibração, uma curva de calibração, ou uma tabela de calibração. Em alguns casos, pode consistir numa correcção aditiva ou multiplicativa da indicação com uma incerteza de medição associada.

NOTA 2 A calibração não deve ser confundida com o ajuste de um sistema de medição, muitas vezes denominado erradamente “auto-calibração”, nem com a verificação da calibração.

NOTA 3 Frequentemente, o primeiro passo da definição é tomado como sendo a calibração.

Vocabulário Internacional de Metrologia de 2008 – IPQ [6]

Verifica-se que, como resultado de uma calibração, se podem atribuir valores das mensurandas às indicações observadas no instrumento em calibração. Como se torna evidente, o conhecimento de um valor verdadeiro é necessário para que se atribuam valores minimamente correctos às indicações dos instrumentos. Os valores convencionalmente verdadeiros são dados por padrões de referência, os quais devem ser por sua vez calibrados por outros padrões e por outros ainda, até ao mais alto nível da definição de grandezas - os padrões primários.

Mais usualmente a calibração permite determinar erros associados aos instrumentos e, consequentemente, definir correcções a fazer perante as indicações obtidas. Outras propriedades metrológicas podem ser determinadas, nomeadamente **incerteza**, efeito de grandezas de influência, linearidade ou desvio de zero.

Tudo isto se aplica não só a *instrumentos de medição*, mas também a *medidas materializadas* ou a *materiais de referência*.

4.3 – Rastreabilidade

É determinante que a calibração seja feita recorrendo a um padrão de referência com melhores qualidades metrológicas que as do equipamento de medição (EM)⁴. O padrão é o representante "autorizado" da grandeza em causa, ou seja, foi-lhe transmitido o "conhecimento" do valor convencionalmente verdadeiro da grandeza. Este valor convencional vai naturalmente perdendo qualidade (em exactidão e fidelidade⁵) ao ser transmitido de padrão a padrão. Assim, é muito importante conhecer o trajecto de "transmissão" do valor convencionalmente verdadeiro desde aquele que é considerado como indiscutivelmente mais próximo da "verdade" metrológica - o padrão primário (figura 2).

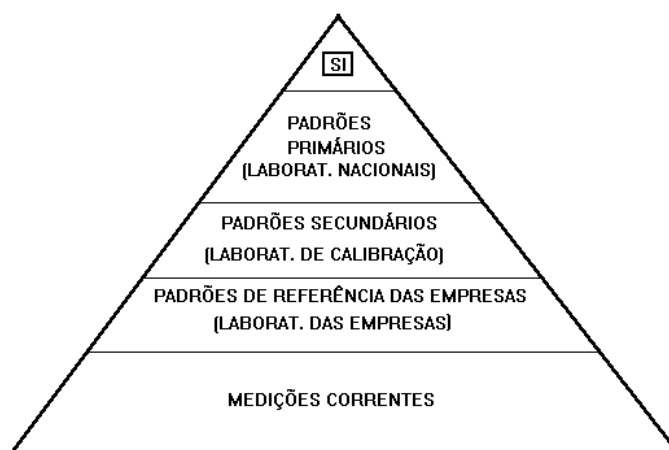


Figura 2 - Pirâmide metrológica, transmitindo a partir das unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI) até às medições correntes (ver Anexo 1)

⁴ Também conhecido pela sigla «EMM» (Equipamento de Medição e Monitorização), conforme é referido na NP EN ISO 9001:2008

⁵ O termo fidelidade corresponde ao termo em inglês "precision" e em francês "fidélité". A fidelidade é razoavelmente quantificada pela incerteza estimada na calibração do EMM

Padrão Primário / primary measurement standard ou primary standard / etalon primaire

Padrão estabelecido através de um procedimento de medição primário ou criado como artefacto escolhido por convenção

EXEMPLO 1: Padrão primário de concentração de quantidade de matéria preparado por diluição de uma quantidade de matéria conhecida de uma substância química num volume de solução conhecido.

EXEMPLO 2: Padrão primário de pressão baseado em medições separadas de força e de área.

EXEMPLO 3: Padrão primário para a medição da relação molar de isótopos, preparada pela mistura de quantidades de matéria conhecidas de isótopos especificados.

EXEMPLO 4: Padrão primário de temperatura termodinâmica, constituído por uma célula do ponto triplo da água.

EXEMPLO 5: O protótipo internacional do quilograma como um artefacto escolhido por convenção.

Vocabulário Internacional de Metrologia de 2008 – IPQ [6]

O trajecto que segue a informação entre os diversos níveis de padrões pode ser comparado com um rasto (traço); daí que, em português se utilize a raiz "rasto" levando ao termo "rastreabilidade" (em inglês é *traceability*, em francês é *traçabilité* e em espanhol é *traceabilidad*).

Rastreabilidade metrológica / metrological traceability / traçabilité métrologique

Propriedade de um resultado de medição através da qual o resultado pode ser relacionado a uma referência por intermédio de uma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição.

Vocabulário Internacional de Metrologia de 2008 - IPQ [6]

Na definição que é dada no Vocabulário Internacional de Metrologia ao conceito “Rastreabilidade” são apresentadas 8 notas que procuram completar a definição. Essas notas podem ser consultadas no Anexo 1, pág. 12. Nesse mesmo anexo explicam-se os dois conceitos de rastreabilidade:

- A rastreabilidade no contexto da qualidade, a que se pode chamar “rastreabilidade horizontal”;
- A rastreabilidade metrológica, esta aqui tratada, a que se pode chamar “rastreabilidade vertical”.

A cadeia ininterrupta de comparações exige também que não se possa efectuar calibração em “anel fechado”, isto é, não deve ser efectuada calibração de um equipamento B com um outro equipamento A que posteriormente irá calibrar o equipamento B. Chama-se a isto EFEITO DE ZANZIBAR.

Zanzibar é uma ilha situada no Oceano Índico, na Tanzânia.

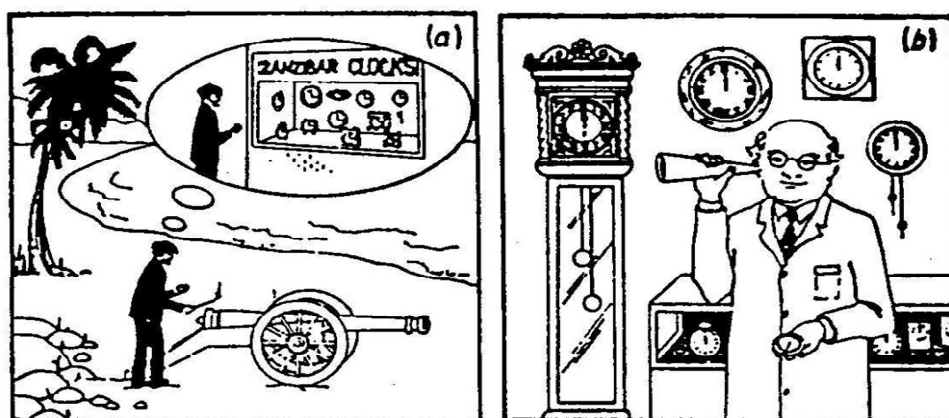
No século XIX, não era fácil acertar relógios, sendo geralmente feito através dos sinos das igrejas, mas isto na Europa.

Em África, particularmente em Zanzibar, não havia naquela altura sino que avisasse a população das horas. Foi então que um capitão reformado, que tinha ao seu dispor um canhão e bastante pólvora, resolveu passar a disparar um tiro de canhão ao meio-dia, para que todos na região pudessem acertar os seus relógios.

Para assegurar a “hora certa”, o capitão deslocava-se ao relojoeiro da ilha e aí acertava o seu relógio.

O relojoeiro, pessoa também preocupada com a exactidão dos seus relógios, acertava-os ao ouvir o tiro de canhão, que por ser bastante longe o obrigava a utilizar um auxiliar auditivo.

Não é claro na história o que aconteceu, mas é de crer que o capitão um dia começou a desconfiar do seu relógio, quando ao disparar o canhão verificou que o sol já se estava a pôr!



B.W. Petley, 1985, *The Fundamental Physical Constants and the Frontier of Measurement* (Hilger)

No Anexo 5 é apresentado um “Quadro de Rastreabilidade” referido ao principal equipamento do laboratório aqui simulado, onde se pode ver blocos agrupados em linhas a que correspondem os níveis hierárquicos de Rastreabilidade:

Linhas das entidades externas às quais o laboratório tem rastreáveis os seus equipamentos de medição de referência; estas linhas têm a indicação “R” (referência); as outras linhas correspondem a níveis hierárquicos designados por 1, 2, 3, ...

As linhas dos equipamentos considerados padrões de referência, que têm rastreabilidade exclusivamente a entidades exteriores (laboratórios acreditados pelo IPAC), estão relacionadas com os níveis inferiores através da numeração dos blocos que correspondem os EM.

4.4 – Confirmação Metrológica

A definição é dada pela norma NP EN ISO 10012 [7] onde se chama **Confirmação** (em francês e em inglês o termo é *confirmation*, com diferente pronúncia, evidentemente) ao acto de comparar os resultados de uma calibração com os necessários para o trabalho a que se destina o EM, bem como a protecção e marcação, incluindo o ajuste e eventuais reparações.

Confirmação metrológica – Conjunto de operações necessárias para assegurar a conformidade de um equipamento de medição com os requisitos da utilização pretendida.

NOTA 1: Geralmente, a confirmação metrológica abrange a calibração e a verificação, qualquer ajuste ou reparação necessários e subsequente recalibração, comparação com os requisitos metrológicos para a utilização pretendida para o equipamento, bem como qualquer selagem e marcação requeridas.

NOTA 2: A confirmação metrológica só é atingida quando e salvo se a aptidão do equipamento de medição para a utilização pretendida tiver sido demonstrada e documentada.

NOTA 3: Os requisitos para a utilização pretendida incluem considerações tais como a gama, a resolução e os erros máximos admissíveis.

NOTA 4: Normalmente, os requisitos metrológicos são distintos dos, e não são especificados nos, requisitos do produto.

NOTA 5: A figura 3 (figura 2 da ISO 10012) apresenta um diagrama dos processos envolvidos na confirmação metrológica.

NP EN ISO 10012:2005 [7]

Quando a calibração é feita em laboratório externo, geralmente os resultados são fornecidos em certificado não conclusivo. Deverá, então, ao recepcionar o certificado, fazer-se uma análise dos erros (ou correcções) e incertezas ao que, como vimos, se chama confirmação metrológica.

Não é impeditivo que os laboratórios procedam à elaboração de certificados conclusivos, mas tal procedimento deverá resultar de um acordo entre a entidade requisitante e a entidade calibradora, só o podendo ser feito se claramente identificada a especificação metrológica aplicável (que poderá ser baseada em documento internacionalmente aceite).

O acréscimo de preço que um certificado conclusivo poderá ter (não necessariamente), poderá ser evitado se as empresas se preparem para fazer a sua própria confirmação.

Pode-se afirmar que a calibração por si só não tem qualquer validade se não for objecto de análise que leve à conclusão de conformidade.

Ao requisitar uma calibração, já sabemos que vamos obter um documento que nos dá “... a relação entre os valores da grandeza com incertezas de medição provenientes de padrões e as indicações correspondentes com incertezas de medição associadas...”, pelo que o certificado (em princípio) não diz que o instrumento está apto a medir aquilo que se espera dele.

A confirmação será o acto de comparar a exactidão, incerteza e, eventualmente, outras propriedades determinadas na calibração com as tolerâncias admissíveis ou envolvidas no processo de medição a que se destina o instrumento. Após essa análise, o instrumento poderá entrar em serviço, se o resultado for positivo.

Resumindo, ao acto de comparar os erros e incertezas com tolerâncias e a respectiva evidência (marcação) bem como a protecção e, eventualmente o ajuste, chama-se CONFIRMAÇÃO (METROLÓGICA).

As acções relacionadas com a calibração e consequente confirmação podem ser representadas no fluxograma da figura 3.

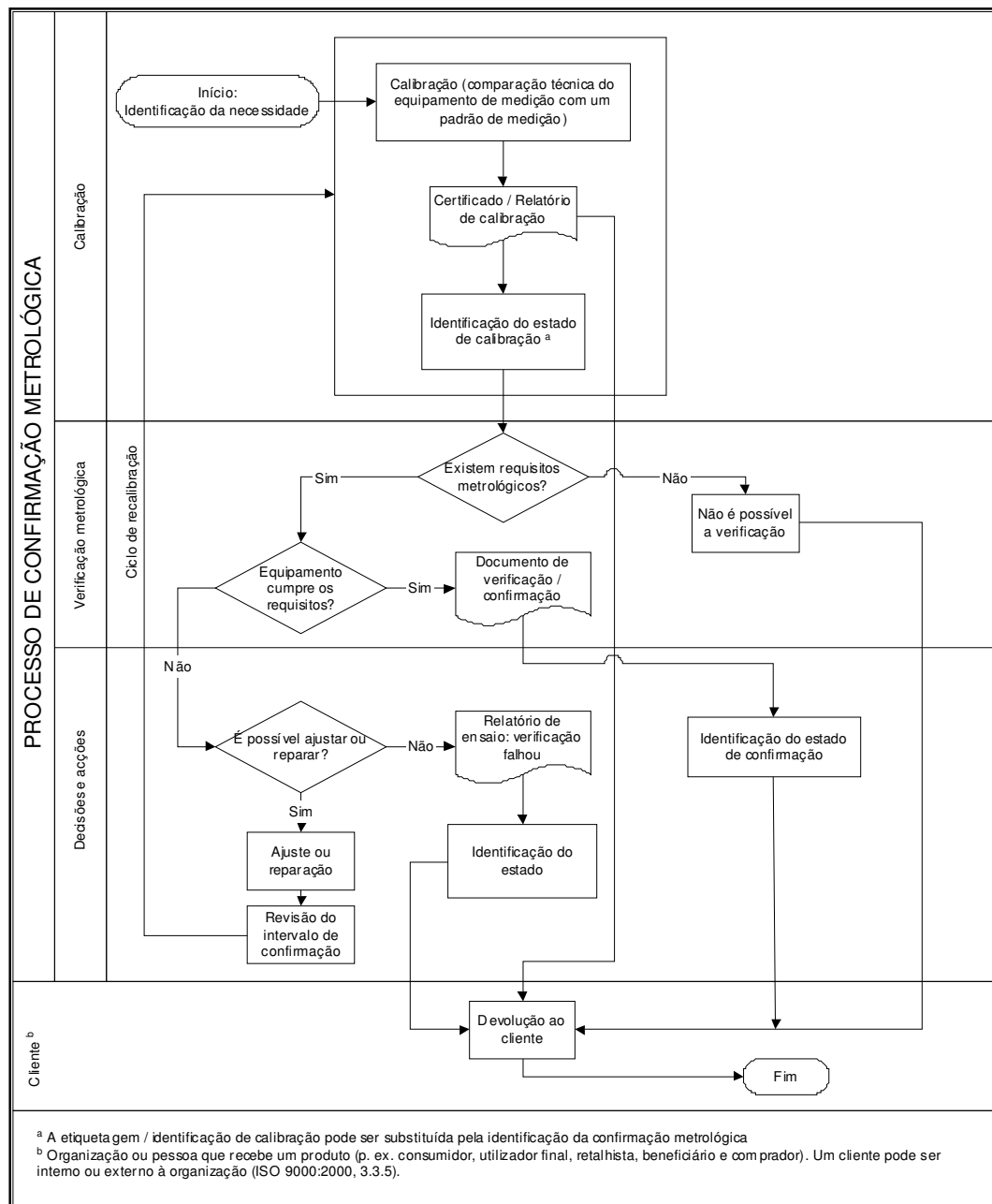


Figura 3 – Processo de confirmação metrológica de equipamento de medição.

5 – Sistema Internacional de Unidades (SI)⁶

5.1 – Generalidades acerca do SI

Continua a ser um objectivo ainda não alcançado a existência de um único sistema de unidades que, internacionalmente, permita um diálogo uniforme no qual se fale de dimensões sem recurso a conversões mais ou menos complexas,

No entanto, muito já foi feito e em muitos países foi já adoptado o mais importante sistema de unidades, aquele que prima pela sua coerência e que rege já a maior parte de negócios e actividades técnicas de todo o mundo. Falamos do Sistema Internacional de Unidades (SI), assim designado pela Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM).

5.2 - A evolução do SI

Mas façamos uma breve revisão histórica das unidades adoptadas em Portugal.

Em 1575, no reinado de D. Sebastião, tinha sido aprovada a Lei de Almeirim, conhecida pela Lei do Igualeamento das medidas dos sólidos e dos líquidos.

Esta lei é um marco notável na metrologia, mais pelos princípios que hoje se consideram básicos, do que pela definição de unidades propriamente dita. Esses princípios - equivalência, cadeia metrológica e rastreabilidade - foram estabelecidos nas seguintes resoluções:

- estabelecimento de equivalências
- criação de redes de padrões
- determinação da comparação periódica dos padrões

Posteriormente veio a ser adoptado em Portugal o sistema métrico, o qual havia sido criado em França no século XVIII.

Em 1814, as unidades adoptadas na Lei de Almeirim foram, adaptadas ao sistema métrico.

Em 1852 Portugal adoptou, através de um decreto, o sistema métrico. Em 1876 Portugal encontrava-se entre os 17 países que assinaram a Convenção do Metro, tendo no ano seguinte legislado para ratificação daquele sistema.

Após a implantação da República, em 1911, é definido o quadro das medidas legais - a Portugal foram atribuídas as cópias nº 10 dos padrões protótipos aprovados na 1ª Conferência Geral de Pesos e Medidas de 1889.

SABER MAIS

A necessidade de medir é muito antiga e remonta à origem das civilizações. Durante muito tempo cada país, cada região, teve o seu próprio sistema de unidades de medida, o que criava muitos problemas, nomeadamente no comércio dos produtos, cujas quantidades eram expressas em unidades diferentes e que não tinham correspondência entre si.

Em 1789, numa tentativa de resolver o problema, o Governo Republicano Francês pediu à Academia de Ciências da França que criasse um sistema de medidas baseado numa "constante natural". Com as medições efectuadas ao "meridiano terrestre" entre Dunquerque e Barcelona por Delambre e Méchain, foi criado o Sistema Métrico Decimal que adoptou, inicialmente, três unidades base de medida: o metro, o litro e o quilograma. Este Sistema foi, em 20 de Maio de 1875, consagrado internacionalmente através do tratado diplomático que hoje se comemora e que determinou a realização dos padrões de platina iridiada do metro e do quilograma e distribuição de cópias aos países membros.

*Instituto Português da Qualidade,
Espaço Q (Boletim Informativo
Mensal nº 55) Maio 2010*

⁶ Foi opção do autor inserir um capítulo especial para o SI, pois que se trata de conceitos básicos para qualquer laboratório, mormente para um laboratório de calibrações.

Em 1926, novamente através de Lei, é aprovada a Convenção do Metro que havia sido modificada em 1921 na 6ª Conferência Geral de Pesos e Medidas.

O sistema evoluiu para aquilo que viria a ser chamado Sistema Internacional de Unidades, estabelecido na 11ª CGPM (1960), tendo havido várias alterações posteriores, às quais Portugal não fez corresponder legislação interna, embora tenha sido sempre membro da CGPM.

Da 19ª CGPM (1991) e após várias directivas do Conselho, houve que adaptar a legislação existente, revogando-a, surgindo então a publicação do mais recente diploma, o Decreto-Lei nº 238/94, agora revogado, principalmente em aspectos formais, pelo Decreto-Lei nº 128/2010, de 3 de Dezembro.

5.3 - O Decreto-Lei 128/2010 [8]

O diploma tem 6 artigos que na sua globalidade alteram e revogam artigos do Decreto-Lei 238/94 e os decretos-lei e rectificações publicados em 1995 e 2002. São definidas regras disciplinadoras da utilização do SI e é publicado um novo anexo que mantém o essencial do anexo do Decreto-Lei de 1994, mas tem cinco pontos de que convém assinalar correspondentes a actualizações significativas aquele Decreto-Lei:

Em primeiro lugar, permite a continuidade da utilização de indicações suplementares⁷ sem prazo definido (ver caixa com texto do Decreto-Lei 238/94).

Em segundo lugar, inclui as decisões da CGPM relativas à eliminação da classe de unidades suplementares⁸ SI, como uma classe separada.

Em terceiro lugar, introduz a interpretação das unidades «radiano» e «esterradiano» como unidades SI sem dimensão.

Em quarto lugar, introduz a unidade de medida do SI «katal» para expressar a actividade catalítica.

Em quinto lugar, introduz uma nota sobre a definição do «kelvin» para eliminar uma das maiores fontes da variação observada entre realizações do ponto triplo da água.

SABER MAIS

Texto do artigo 2º do Decreto-Lei 238/1994

Indicações suplementares

1 – Para efeitos do disposto no presente diploma, entende-se que existe indicação suplementar quando uma indicação expressa numa unidade constante do anexo é acompanhada por uma ou várias indicações expressas noutras unidades.

2 – A utilização das indicações suplementares é autorizada até 31 de Dezembro de 1999.

3 – A indicação expressa numa unidade de medida constante do anexo deve prevalecer sobre a indicação ou indicações expressas noutras unidades, nomeadamente apresentando-se em caracteres de dimensão superior.

É importante não confundir “indicação suplementar” com “unidade suplementar”, conceito que foi eliminado em 1995 pela CGPM (ver 5.7.1)

⁷ Quando é dito que a indicação numa unidade de medida do SI deve prevalecer sobre indicações expressas noutras unidades, significa que se, por exemplo, escrevermos o valor de uma força em kgf, isso deverá ser colocado após ter escrito na unidade SI, newton, apresentando-se a indicação de kgf em caracteres de dimensões inferiores [exemplo: $F=105 \text{ N (10,7 kgf)}$]

⁸ A 20ª CGPM, de Outubro de 1995, na sua 8ª Resolução, decidiu eliminar a classe de unidades suplementares, passando estas a ser consideradas unidades derivadas

5.4 -Pontos relevantes do Decreto-Lei 128/2010

5.4.1 Utilização das unidades de medida não legais

É autorizada a utilização das unidades de medida não legais (actualmente) para:

- a) os produtos ou equipamentos colocados no mercado ou em serviço em data anterior à entrada em vigor do Decreto-Lei nº 128/2010 (artigo 3º de [8]).
- b) peças e partes de produtos e equipamentos que completem ou substituam as peças e partes de produtos e equipamentos referidos na alínea a).

Esta autorização não se aplica aos dispositivos indicadores dos instrumentos de medição, nos quais é obrigatória a utilização de unidades de medida legais (texto mantido do Decreto-Lei 238/94).

5.4.2 – Âmbito do Decreto-Lei nº 128/2010

O disposto no Decreto-Lei nº 128/2010 abrange os instrumentos de medição, as medições efectuadas e as unidades de grandeza expressas em unidades de medida, no circuito comercial, nos domínios da saúde, da segurança pública, do ensino e nas operações de natureza administrativa e fiscal.

É permitido o uso de unidades diversas das do SI no domínio da navegação marítima e aérea e do tráfego por via férrea, por força de acordos internacionais.

A aprovação dos padrões de medida que realizam as unidades legais compete ao IPQ.

Compete à Autoridade de Segurança Alimentar e Económica (ASAE) fiscalizar o cumprimento do Decreto-Lei 128/2010, sem prejuízo das competências atribuídas por lei a outras entidades.

Resta referir que a utilização de unidades de medida não autorizadas, nos termos do artigo 3.º, constitui contra-ordenação punível com coima de € 25 a € 2500 se o infractor for uma pessoa singular e até € 30 000 se for uma pessoa colectiva!

No Anexo 13 a este texto, é detalhado o conteúdo do anexo do Decreto-Lei nº 128/2010, onde está um capítulo particularmente recomendável aos leitores deste texto, denominado “Regras de Escrita” de unidades.

5.4.3 – O Grande Embuste (Monsieur Litre)

A questão que se põe é se o litro se deve escrever com letra minúscula ou maiúscula. Em contactos profissionais através de fóruns dedicados à metrologia e à normalização, o autor tomou conhecimento de que o litro tinha sido adoptado em homenagem a uma personagem que viveu no século XVII, em França. Pesquisando, o autor foi informado que tal personagem nunca existiu e tinha sido fruto, talvez por brincadeira, da imaginação de um professor da Universidade de Waterloo. Quem lê um artigo de um professor universitário inglês é levado a acreditar no que é publicado!

Saber mais

Em 1978 Kenneth Woolner, professor da Universidade de Waterloo, publicou um texto (em “CHEM 13 News” uma newsletter acerca de química para professores) referindo que a unidade “Litro” tinha sido assim denominada em homenagem ao Senhor Claude Émile Jean-Baptiste Litre.

Segundo Woolner, Claude Litre nasceu em 12 de Fevereiro de 1716 e era filho de um fabricante de garrafas de vinho. Ainda segundo Woolner após a morte de Baptiste Litre foi adoptado o litro como unidade de volume.

A ter existido tal personagem, isso significaria que o símbolo de “litro” deveria ser escrito com letra maiúscula por derivar do nome de uma pessoa. Mais tarde o prof. Woolner disse que aquilo tinha sido uma brincadeira de “um de Abril”!

O facto de tal personagem não ter existido não impede que não se possa escrever “litro” com a letra “L”.

Na Brochura do BIPM, secção 4.1, Tabela 6, alínea f) pode ler-se:

“The litre, and the symbol lower-case l, were adopted by the CIPM in 1879 (PV, 1879, 41). The alternative symbol, capital L, was adopted by the 16th CGPM (1979, Resolution 6) in order to avoid the risk of confusion between the letter l (el) and the numeral 1 (one)”

6 – Sistema de Gestão do LABORATÓRIO ISO 17025 [9]

6.1 - Referencial geral da qualidade

Na simulação que é feita neste trabalho, procura-se relevar os princípios básicos de funcionamento de um laboratório de metrologia pertencente a uma empresa certificada segundo o referencial ISO 9001:2008 [10].

O requisito 7.6 da ISO 9001 envolve o controlo dos equipamentos de monitorização e medição, sendo este requisito subdividido em cinco sub-requisitos, todos eles definidos como trajecto que a organização deve determinar a monitorização e a medição a serem efectuadas e os equipamentos considerados decisivos para que seja evidenciado a conformidade do produto com os requisitos que lhe estão associados.

A organização deve estabelecer processos para assegurar monitorização e medição apropriadas. Para tal, aquelas devem ser levadas a cabo de uma forma consistente com os requisitos de monitorização e de medição.

ISO 9001, 7.6 [10]

Os requisitos, anteriormente denominados sub-requisitos, têm em vista assegurar resultados válidos quando da utilização de equipamento que pode influenciar o desempenho do produto.

Na figura 4 é apresentado o conjunto de requisitos especificados em 7.6 da ISO 9001, completados com detalhes de aplicação.

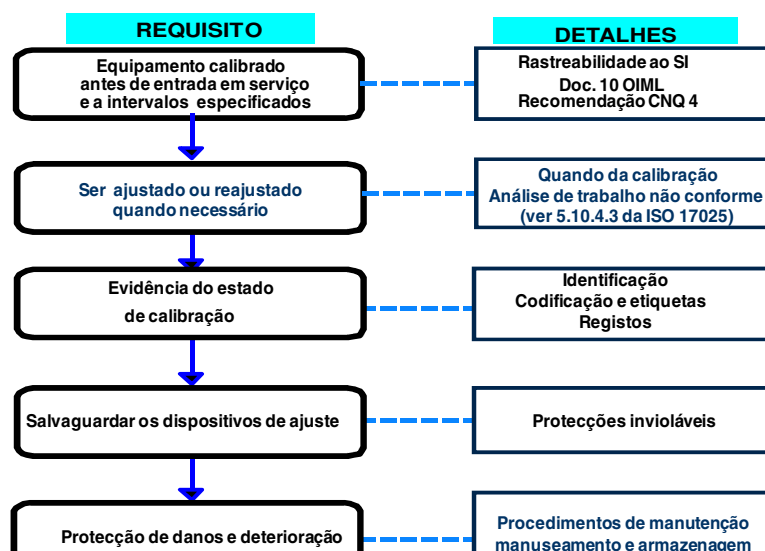


Figura 4 - Requisitos especificados em 7.6 da ISO 9001:2005

Os requisitos associados ao *EM* da empresa podem ser mais bem assegurados se a organização criar um laboratório de metrologia que vai manter sob controlo toda a medição da área fabril.

O laboratório em causa não é acreditado pelo Instituto Português de Acreditação, situação muito comum em ambiente industrial⁹, nem está vocacionado para realizar calibrações para terceiros.

Este laboratório, a que, neste trabalho, se dará a designação de LABORATÓRIO (com maiúsculas), tem uma missão esquematizada nas seguintes atribuições:

- 1 – Calibração interna de algum do equipamento fabril¹⁰, com o respectivo estudo de incertezas;
- 2 – Medições específicas para comprovar a conformidade dos processos com tolerâncias mais críticas;
- 3 – Estudos de incertezas em alguns ensaios feitos em “chão de fábrica”.

Neste relatório referem-se os principais requisitos para bom funcionamento do laboratório, sendo apresentados como anexos os estudos mais detalhados, tais como estudos de incertezas.

6.2 – Sistema de gestão da medição – ISO 10012 [7]

O sistema de gestão da medição envolve o controlo dos processos de medição e da confirmação metrológica do *EM*, considerados relevantes para o produto e os respectivos processos de suporte.

Para um harmonioso funcionamento da função da medição na empresa, decidiu-se aplicar o referencial especificamente elaborado na NP EN ISO 10012:2005 - Sistemas de gestão da medição,

⁹ Deve fazer-se notar que a norma em estudo (ISO 17025) define exclusivamente requisitos para o bom funcionamento de um laboratório de calibração/ensaio e não a sua acreditação.

¹⁰ Resultado de estudo, a empresa decide quando se justifica económica e tecnicamente a realização de calibrações internas. A componente económica é geralmente determinante para a decisão.

traduzido para português pela CT 80 (APQ) da ISO 10012:2003, elaborada por colaboração entre o ISO/TC 176 “Quality management and quality assurance” e o CMC (Chemistry, Manufacturing & Control). De acordo com o Regulamento Interno do CEN/CENELEC, a Norma 10012 deve ser implementada pelos organismos nacionais de normalização. Em Portugal foi implementada por tradução, em 2005¹¹.

Esta norma foi já referida neste texto para a definição de “confirmação metrológica”.

À semelhança dos princípios contidos na ISO 9000 [11], a ISO 10012 também está orientada para os processos. Os processos de medição são processos específicos visando suportar a qualidade dos produtos e serviços produzidos. O modelo de aplicação do sistema de gestão da medição aplicável pela ISO 10012 é representado na figura 5.



Figura 5 – Modelo de sistema de gestão da medição [7]. As cláusulas têm a numeração da própria norma 10012.

Por definição um “processo” é um “conjunto actividades interrelacionadas e interactuantes, que transformam entradas em saídas” [11].

Torna-se evidente que um processo necessita de recursos, os quais são:

- Recursos humanos
- Recursos relativos à informação
- Recursos Materiais

(pág 11-13 de [7])

No capítulo 7 é detalhado o controlo de recursos.

¹¹ “A ISO (Organização Internacional de Normalização) é uma federação mundial de organismos nacionais de normalização (organismos membros da ISO). O trabalho de preparação das Normas Internacionais é normalmente executado através dos comités técnicos da ISO. Cada organismo membro interessado numa determinada matéria, para a qual tenha sido criado um comité técnico, tem o direito de se fazer representar nesse comité. As organizações internacionais, governamentais e não governamentais, em ligação com a ISO, participam igualmente nos trabalhos. A ISO colabora estritamente com a Comissão Electrotécnica Internacional (IEC) em todos os assuntos de normalização electrotécnica” [7].

6.3 – A ISO 17025 perante a ISO 9001 e a ISO 10 012

A norma ISO 17025:2005 define requisitos para a organização, onde o rigor da medição é a função alvo. No entanto, sendo que o resultado da medição vai ser utilizado pelo cliente, é a este – Cliente – que o sistema de qualidade principalmente atende¹².

No presente trabalho colocamo-nos dentro de uma organização que quer fornecer serviços de calibração e ensaio (medições) de boa qualidade, sendo, portanto, esta a nossa perspectiva.

Considera-se que a organização-mãe está certificada pela ISO 9001:2008.

O termo ‘organização’ é utilizado para a unidade à qual nos estivermos a referir. Assim, o **LABORATÓRIO** é a organização que por excelência este trabalho se refere.

O cliente, neste trabalho, tanto pode ser externo como interno. No caso particular das calibrações internas, apresentam-se os resultados das calibrações a um cliente interno, que tanto pode ser o próprio laboratório como qualquer outro departamento da organização-mãe.

Todos os esforços que fizermos para melhorar as nossas prestações enquanto fornecedores, de algum modo recairão novamente sobre nós próprios.

Faz-se notar que o termo anteriormente utilizado na ISO 9001 – *DMM*¹³ (Dispositivos de Monitorização e Medição) – foi alterado para *EMM* (Equipamento de Monitorização e Medição), mas que na generalidade é aqui chamado de «equipamento de medição» – *EM*, (tal como a própria ISO 9001, pág 21 [10]. A utilização de *EM* (Equipamento de Medição), está também em concordância com a denominação utilizada na norma NP EN ISO 10012:2005.

Equipamento de medição - Instrumento de medição, software, padrão de medição, material de referência ou aparelho auxiliar ou uma combinação desses elementos, necessários à realização de um processo de medição.

ISO 10012 [7]

6.4 – As regras de bom senso

Para garantir que o Equipamento de Medição se encontra sob controlo e que durante um período determinado se manterá em condições de operacionalidade há que respeitar um determinado número de regras. Umas regras (requisitos) estão publicadas sob a forma normativa:

- As já referidas normas ISO 9001:2008. ISO 17025 e ISO 10012:2003.

Existem, no entanto, outras regras que não se encontram descritas na normalização já referida, mas sim noutro tipo de “documento”, este universal e de aplicação obrigatória:

¹² No entanto, dizer que “o Cliente tem sempre razão” é não aplicável num laboratório de metrologia. Se um cliente pedir para que o certificado de calibração tenha uma data anterior (portando, uma data falsa) por causa de uma auditoria, é coisa que não se pode fazer. Isto aconteceu realmente com o autor que, evidentemente, recusou fazer tal falsificação.

¹³ A sigla *DMM* era propícia a confusões, já que, internacionalmente, *DMM* é geralmente aplicado para *Digital Multimeter*

São as Regras de Bom Senso.

As Regras de Bom Senso têm especificidades associadas a cada tipo de organização, mas algumas poderão ser de aplicação universal.

Primeira regra:

“Não devemos querer agradar a patrões, a chefes ou a auditores, sem primeiro agradarmos a nós próprios”

Assim, conhecidas as grandezas envolvidas, as tolerâncias a respeitar e o funcionamento dos instrumentos, temos facilmente a percepção de que durante um determinado espaço de tempo estamos a medir bem e de modo reproduzível;

ou então, pelo contrário, temos dúvidas acerca do que estamos a medir – o erro é desconhecido de todo, ou a incerteza é muito grande...

Muitas vezes temos a estranha percepção que alguma coisa não está bem no nosso método de medir... e não conseguimos detectar aquilo que nos atormenta. É então que temos a segunda regra de Bom Senso:

Segunda regra:

“Não é seguro manter um processo produtivo quando metrologicamente está instalada a dúvida”

A experiência ensina-nos que na metrologia nada se pode esconder. Pode durante algum tempo escamotear-se uma falha, mas em pouco tempo tudo pode aparecer à luz do dia, sendo geralmente levado para o campo das indemnizações os erros antigos, já que muitas vezes o produto já foi consumido, mas os danos podem ser inventariados e direccionados para o “culpado”.

Muitas vezes temos que tomar decisões drásticas, talvez até bastante dispendiosas. Mas não nos devemos subordinar a uma análise de imediatismo economicista que rejeite uma hipótese de decisão que obrigue a alterar o suporte material e processual de um sistema de medição. Daí uma outra regra de Bom Senso:

Terceira regra:

“Uma decisão dispendiosa só é cara quando for ineficiente”

É aqui que nos ocorre dizer que todas as decisões devem ser bem pensadas e sempre procurando basear-nos em análises integradas, pois que um sistema de medição não deve ser o somatório de bons instrumentos manuseados por bons técnicos, mas sim respeitando mais uma regra de Bom Senso:

Quarta regra:

“O melhor que há pode não ser o melhor para nós”

Quer isto dizer que o próprio *EM* deve ser dimensionado para o uso que lhe destinamos, ou, por outras palavras, deve haver uma adaptação, o mais perfeita possível, entre o que pretendemos do *EM* e aquilo de que ele é capaz.

Quinta regra:

Como última regra de Bom Senso tendente a manter o conhecimento da envolvente metrológica da produção, devemos procurar colmatar eventuais lacunas no domínio que estamos a tratar – a gestão integrada do *EM*.

“Não tenhamos receio de demonstrar uma pontual ignorância; recorramos a quem nos possa ajudar a dissipar dúvidas”

No entanto há um cuidado a ter:

Se só nos orientarmos por regras de Bom Senso inventadas por cada um, reinará uma grande confusão, pois que «Bom Senso, cada um toma o que quer»!

No **LABORATÓRIO** serão cumpridas as 5 regras de Bom Senso apresentadas neste capítulo e não serão permitidas quaisquer outras regras mais ou menos personalizadas, a menos que surjam de decisão da Direcção do LABORATÓRIO devidamente aprovadas pela Gestão de Topo.

6.5 – Aquisição de equipamento de medição

Dado que o LABORATÓRIO está já em funcionamento e com equipamento de medição devidamente calibrado, é normal que, ao constatar a necessidade de definição de um processo de medição, logo leve a identificar o *EM* já existente que tenha as características metrológicas apropriadas. No entanto, alguma vez foi necessário fazer a aquisição de equipamento de medição em função de uma ou mais medições que eram requeridas. Daí que se privilegiará aqui a função “Aquisição de Equipamento de Medição”.

6.5.1 – Detecção da necessidade de medição

Quando detectada a necessidade de uma medição para evidenciar o cumprimento de especificações de produto, seguem-se as acções:

- Identificar a grandeza a medir, as tolerâncias envolvidas e as condições em que a medição deve ser efectuada;
- Características expectáveis para o instrumento que se procura que possa cumprir os objectivos;
- A classe de exactidão procurada é função da tolerância pretendida no produto a medir;
- Deverá existir uma relação credível entre os erros e incertezas (do *EM* que vier a ser seleccionado) e a tolerância.
- O erro máximo admissível do equipamento de medição (erro este relacionado com a exactidão) deverá conter o erro de indicação e a incerteza da respectiva calibração.

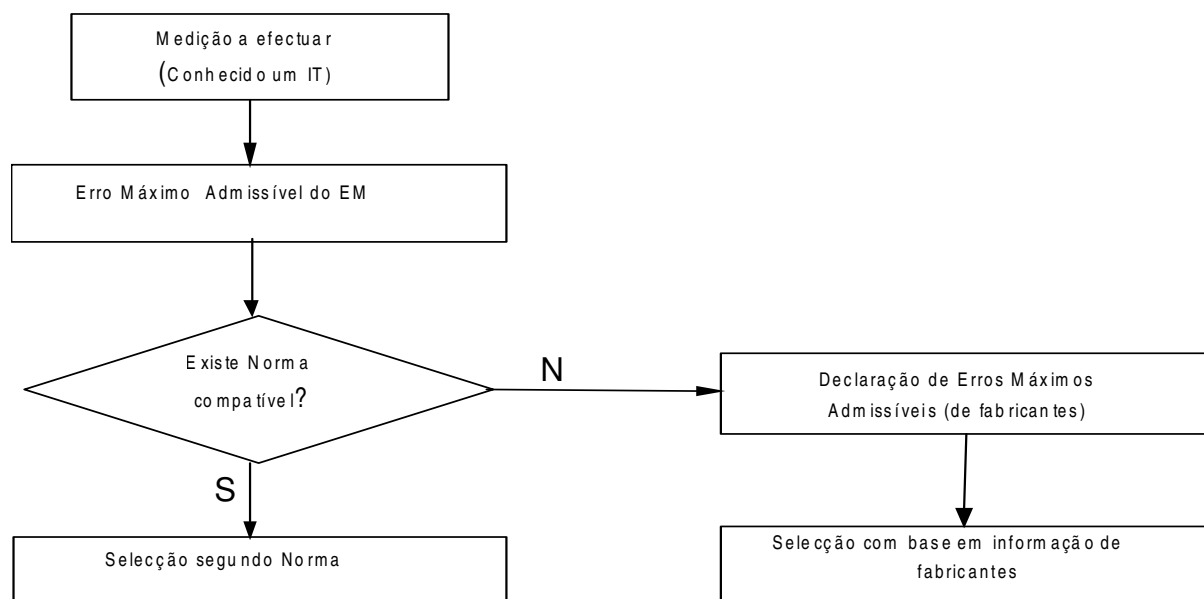


Figura 6 – Fluxograma da decisão de compra de EM

6.5.2 – Características do EM

Os requisitos especificados, no que se refere a características metrológicas do EM após identificação, são evidenciados e aplicados recorrendo a fontes adequadas (figura 7).

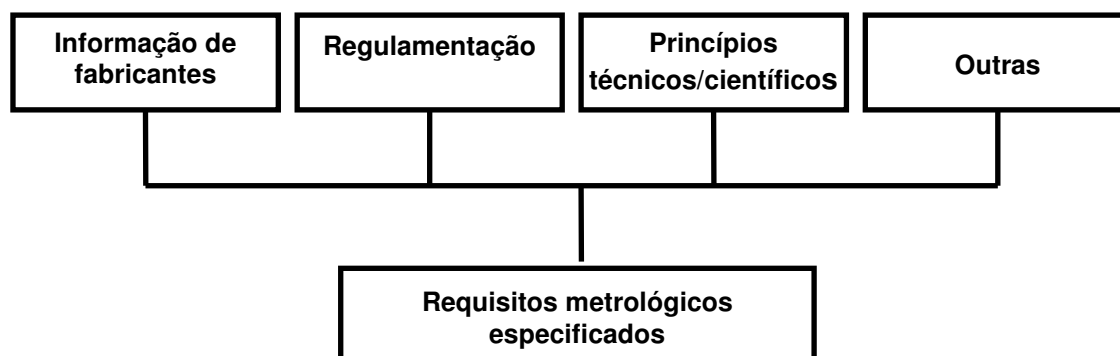


Figura 7 – Requisitos metrológicos especificados para selecção de equipamento

Os requisitos metrológicos especificados estão relacionados com o produto. É necessário conhecer estes requisitos, tanto para o equipamento de medição como para o processo de medição. Os requisitos poderão ser expressos como erros máximos admissíveis, limites para a incerteza do *EM*, gama, estabilidade, resolução, condições ambientais exigíveis ou competências do operador.

6.5.3 – A selecção do *EM*

Seleccionar um instrumento para uma determinada medição obriga, logo à partida, saber aquilo que se quer medir e, como tal, há que conhecer um conjunto de vectores determinantes para a escolha mais adequada:

- A grandeza (mensurável) envolvida. Não parece de todo em todo possível que se possa medir o que quer que seja sem que se conheça a grandeza em causa, tomada no seu sentido geral - força, pressão, temperatura, resistência eléctrica. O conhecimento da sua definição e os seus fundamentos físicos pode ser uma boa ajuda.
- A grandeza particular envolvida – a mensuranda
- As unidades a utilizar; neste particular há que reter que é obrigatório, por força de lei, o uso do Sistema Internacional de Unidades;
- O princípio de medição;
- O método de medição;
- As grandezas de influência;
- Tolerâncias admissíveis na medição;
- Competência técnica disponível;
- Rastreabilidade.

6.5.3.1 – Factores de decisão para a selecção

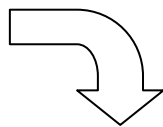
- Capacidade para medir a mensuranda envolvida;
- Gama compatível com os valores a medir da mensuranda;
- Classe de exactidão compatível com as tolerâncias que se querem cumprir;
- Resolução compatível com a exactidão;
- Incerteza;
- Sistema de indicação adaptável a quem, quando, como, quê e onde medir;
- Facilidade maior ou menor de calibração;
- Robustez do equipamento;
- Cuidados de manutenção;
- Custo de base.

6.5.4 – A Aquisição

6.5.4.1 – Caderno de encargos

Análise comparativa entre o que se pretende medir e as características dos equipamentos conhecidos

LEVA A



Ordenação coerente e sistematizada, que poderá ser entregue a entidades potencialmente fornecedoras.

Um caderno de encargos bem elaborado tem uma vantagem económica indiscutível, pois:

- Permite delimitar claramente o que se pretende, levando a que os fornecedores possam fazer estimativas realistas por terem um suporte objectivo para a respectiva oferta.
- Organiza previamente o processo do equipamento
- Facilita as acções de recepção e ensaios
- Clarifica responsabilidades

As acções relacionadas com a compra, após ter sido seleccionado o tipo de equipamento pretendido, são as seguintes:

- Elaboração do caderno de encargos;
- Divulgação;
- Análise de propostas e escolha;
- Recepção;
- Instalação e arranque.

Após a decisão relativa à escolha do *EM*, esta fase (a definição e elaboração do caderno de encargos) pode considerar-se de importância equivalente à da selecção.

Consiste num documento, ou conjunto de documentos, tendentes a facilitar a operação de compra (por parte de quem decidiu adquirir o *EM*) e, de igual modo, facilitar a operação de venda (por parte do eventual fornecedor).

Este documento deve conter os requisitos entendidos como necessários e suficientes para a aquisição de *EM*.

O caderno de encargos propriamente dito deve ser constituído por:

1. Parte técnica
2. Parte comercial

Caderno de Encargos Técnico

Esta parte do caderno de encargos pode ser bastante simples quando o equipamento a adquirir se pode reportar a uma norma ou a outro documento específico que contenha com clareza as principais exigências de funcionamento. Pode ser o caso de compra de blocos padrão para calibrar micrómetros. As normas referem a utilização de blocos padrão de grau 1 (a que correspondem erros e exigências geométricas bem definidos). A compra de blocos-padrão de grau 1 pode basear-se na norma ISO 3650 onde são indicados aqueles erros e exigências geométricas.

Em situações deste tipo, bastará referir que os blocos devem respeitar a norma ISO 3650, identificando o grau (classe) para caracterizar tecnicamente aquilo que se pretende.

No entanto, em casos onde a definição técnica não seja normalizada, poderá ser útil a existência de uma lista de pontos a lembrar para a elaboração do *caderno de encargos*.

Tabela 8 - Caderno de encargos técnico

Designação do equipamento	Tipo de EM	Detalhes
Capacidade de medição com os acessórios incluídos na proposta		Comparação entre exactidão e incerteza com tolerâncias a cumprir
Características de funcionamento	Medição autónoma Necessidade de alimentação para o estímulo Necessidade de equipamento para indicação na resposta	Transdutor activo ou passivo (cuidados especiais devem ser tidos quando à tensão, corrente e frequência da rede)
Norma, regulamento ou outro documento de referência		
Segurança na utilização e requisitos de protecção do ambiente	Marcação CE Outra referência de segurança	
Grandeza (unidades)	Cumprir SI de unidades	Decreto-Lei nº 128/2010, de 3 de Dezembro
Gama nominal		
Gama de medição		
Escalas		
Resolução (quando aplicável)		
Sensibilidade		
Classe de exactidão	Critério de classificação	Normativa ou outra
Rastreabilidade usual		
Recomendações do fabricante sobre intervalos entre calibrações		Recomendação 4 do CNQ [12]
Condições estipuladas	Transporte e funcionamento	
Condições ambientais (armazenamento e funcionamento)	Temperatura	Amplitude ($\pm K$), Estabilidade (K/h) Uniformidade (K/m)
	Humidade relativa	Amplitude (%)
Sensor	Limitações na utilização	
Modo de resposta	Indicador: <ul style="list-style-type: none"> • Analógico • Digital • Registador 	
Condições particulares de manuseamento	Formação específica requerida?	Formação não incluída?
Manutenção - requisitos		
Documentação a fornecer	Língua	
Software	Licença de utilização, condições	
Assistência		
Modelo aprovado e primeira verificação (Quando aplicável)		
Certificado de calibração de entidade acreditada	Quando acordado nesse sentido	Laboratório acreditado por país signatário de Multilateral Agreement

Caderno de Encargos Comercial

Esta parte do caderno de encargos trata de todo o domínio da compra relacionado com a forma, tratando desde o modo como se confirma a compra até às garantias e multas por incumprimento.

Tabela 9 - Caderno de encargos comercial

Local de entrega		
Transporte		Responsabilidade
Seguros		
Montagem		Responsabilidade
Ensaios	Especificação	
Prazos de entrega		Se possível, dia exacto
Consequências por atrasos		Multas
Garantia	Extensão	Período
Preços		
Impostos (IVA, outros)		Incluídos no preço?
Condições de pagamento		
Ao abrigo de que legislação se estabelece o contrato		
Assistência	Custos associados	Entidade responsável

Divulgação do Caderno de Encargos

A divulgação do caderno de encargos pode ser feita através de:

- Concurso público
- Concurso privado
- Convite específico

A definição de regras de concursos cai fora do âmbito deste documento. Cada organização tem as suas próprias regras, mormente os organismos públicos, que evidentemente deverão ser seguidas.

A terceira modalidade de divulgação pode ser inevitável quando o equipamento a comprar tem que ser compatível com outros equipamentos já existentes e o fornecedor for um único fabricante ou representante.

No entanto, em qualquer dos casos sempre se deverá promover a elaboração de um caderno de encargos que, além do que já foi dito, poderá funcionar para o eventual fornecedor como elemento para análise de contrato.

Um simples fax a referir as principais características de um equipamentos a comprar, já pode ser considerado como um CADERNO DE ENCARGOS

6.5.4.2 – Análise de propostas e escolha

Após análise técnica, que obedecerá aos métodos e procedimentos próprios da organização, será produzido um documento de escolha da melhor proposta e, após ponderação benefício/custo. levará a uma decisão.

Todo o processo de compra se desenvolverá a cargo de entidades claramente responsabilizadas (Aprovisionamento / sector técnico requisitante).

6.5.4.3 – Recepção, instalação e arranque

Todos os requisitos definidos no caderno de encargo serão objecto de análise (verificações e ensaios), sendo particularmente cuidados:

- A análise de documentação (certificados, manuais, esquemas técnicos, etc.)
- A segurança
- Os ensaios específico, dos quais devem resultar documentos (relatórios ou outros) que são registos do Sistema de Gestão do Equipamento de Medição.

A calibração suportada em documento emitido por entidade reconhecida internacionalmente é, em regra, essencial para os instrumentos de medição. A análise dos certificados de calibração deverá ser feita recorrendo à NP EN ISO 17 025.

Notar que os documentos comerciais (guias de remessa e facturas) devem ter seguimento imediato para o serviços competentes, mesmo que se decida aguardar o término dos ensaios para dar autorização de pagamento. Os serviços competentes (Aprovisionamento / Contabilidade) actuarão em conformidade com as disposições legais que contemplam estas situações.

6.6 – Gestão de recursos

6.6.1 – Recursos humanos

Neste domínio a ISO 10012 especifica que devem ser definidas e documentadas as responsabilidades de todo o pessoal que esteja envolvido no sistema de gestão da medição. É feita uma recomendação, a título de orientação, que as responsabilidades poderão estar definidas por qualquer método que a organização considere apropriado (organogramas, descrições de funções, instruções de trabalho ou procedimentos).

A prática de recorrer a especialistas externos para a função metrológica é admitida como boa pela ISO 10012.

Deve estar assegurado que o pessoal envolvido no sistema de gestão da medição demonstre ter aptidão para desempenhar as funções que lhe são atribuídas.

Há situações em que são necessárias competências especiais, devendo ser claramente especificada esta situação.

Como orientação, a ISO 10012 sugere que a competência poderá ser evidenciada por escolaridade, formação profissional e experiência. A demonstração pode ser assegurada por meio de testes ou pela observação do desempenho.

6.6.1.1 – Programa de formação

O LABORATÓRIO define os objectivos no que se refere à competência do pessoal do laboratório (inclui a escolaridade e formação complementar).

O LABORATÓRIO identifica anualmente as necessidades de formação, para o que ausculta os próprios colaboradores (corresponde a uma contribuição para a entrada do processo de formação) e analisa as necessidades detectadas pelo pessoal dirigente (a revisão anual do sistema de gestão é outra entrada, esta determinante) para proporcionar a formação.

Deverá sempre ser avaliada a eficácia das acções de formação, o que será realizado alguns meses após a acção, confrontando os objectivos operacionais desta acção com o desempenho do pessoal envolvido na mesma.

6.6.2 – Recursos relativos à informação

6.6.2.1 – Procedimentos

Os procedimentos do sistema de gestão da medição devem ser documentados e validados para que se possa garantir uma correcta implementação, consistência na aplicação e a validade dos resultados das medições, segundo ISO 10012, 6.2.1 [7]. Nesta mesma norma é abordada a existência de procedimentos técnicos que poderão ser baseados em métodos normalizados (este é sempre o método preferido para a realização de procedimentos), ou em instruções escritas dos clientes ou dos fabricantes dos equipamentos.

6.6.2.2 – Software

A documentação, identificação e controlo do software usado em processos de medição ou cálculo, são considerados importantes para assegurar a aptidão para os resultados esperados. Dado que o software é considerado como “equipamento de medição”, a realização e revisões, devem ser validados antes da entrada ao serviço.

Como orientação refira-se que o software poderá ser adquirido (forma comercial) ou desenvolvido pela organização ou sob sua orientação.

Os testes de software poderão incluir pesquisa de vírus e a verificação de algoritmos. Tal como o *EM* em geral, o software também necessita de ser protegido contra intervenções que, intencional ou fortuitamente, o possam danificar. Também deve haver um cuidado especial no arquivo de software, nomeadamente no que se refere a cópias de segurança (back-up).

O software comercial em princípio não necessita de ser testado.

6.6.2.3 – Registos

6.6.2.3.1 – Registos associados ao *EM*

Na ISO 17025 é considerado requisito de funcionamento de um laboratório o estabelecimento de procedimentos para identificação, recolha, indexação, acesso, arquivo, armazenamento, manutenção e eliminação dos registos técnicos e da qualidade.

É considerado que os registos da qualidade devem incluir os relatórios das auditorias internas e das revisões pela gestão, bem como os registos das acções correctivas e preventivas. Este tipo de registos, sendo importante, não é tratado de modo detalhado no nosso estudo do sistema de gestão da medição.

Entre outras indicações (legibilidade dos registos, arquivo e conservação), a ISO 17025 refere a necessidade de os períodos de conservação dos registos estarem definidos.

Os registos devem demonstrar que cada equipamento de medição tem capacidade para cumprir a função metrológica que lhe está destinada.

Os registos podem ser manuscritos ou em qualquer outro suporte (dactilografado, magnético, informático, etc.). Toda a documentação, incluindo certificados de calibração e outras provas formais relacionadas com o funcionamento do *EM*, devem estar disponíveis para evidenciar a necessária conformidade.

Devem existir procedimentos para proteger e fazer cópias de segurança dos registos armazenados em suporte electrónico, segundo ISO 10012, 7.1.4 [7].

São registos a descrição e confirmação do equipamento de medição utilizado.

Registos do processo de confirmação metrológica

A informação registada relativa ao processo de confirmação metrológica deve incluir:

- a) a descrição e a identificação única do fabricante de equipamento, tipo, número de série, etc.;

- b) a data em que a confirmação metrológica foi terminada;

- c) o resultado da confirmação metrológica;

- d) o intervalo de confirmação metrológica atribuído (de notar que a próxima calibração é função da data da calibração anterior e não data da confirmação)

- e) a identificação do procedimento de confirmação metrológica quando aplicável;

- f) o erro máximo admissível definido;

- g) as condições ambientais relevantes e uma informação acerca de correcções eventualmente necessárias;

- h) as incertezas associadas à calibração do equipamento;

- i) detalhes de eventuais acções de manutenção, tais como o ajuste, as reparações ou as modificações realizadas;

- j) eventuais limitações de utilização (existindo estas limitações, elas devem estar indicadas no próprio equipamento);

- k) identificação da pessoa que efectua a confirmação metrológica;

- l) identificação da pessoa responsável pela correcção da informação registada;

- m) identificação única (tal como número de série) de quaisquer certificados de calibração e relatórios e outros documentos relevantes;

- n) evidência da rastreabilidade dos resultados da calibração;

- o) os requisitos metrológicos para o uso pretendido;

- p) os resultados da calibração obtidos após e, quando aplicável, antes do ajuste, modificação ou reparação

ISO 10012 [7]

A ISO 10012 privilegia toda a envolvente da manutenção de registos, pelo que é nessa norma referido que devem ser mantidos todos os registos que contenham a informação necessária para a operação do sistema de gestão da medição.

Também se entende como necessária a existência de procedimentos documentados para assegurar identificação, arquivo, protecção, recuperação, tempo de retenção e organização dos registos [7].

Durante a vida activa de um *EM*, todos os registos que lhe correspondem devem ser conservados.

Tratados noutra parte deste trabalho (na óptica da sua necessidade como requisito da ISO 17025) são aqui abordados como parte integrante do património da organização. Assim, todos os registos que contenham a informação necessária para a operação do sistema de gestão da medição devem ser mantidos e deverá haver procedimentos documentados para assegurar a identificação, o arquivo, a protecção, recuperação, o tempo de retenção e a organização dos registos [7].

Na ISO 10012 são dados alguns exemplos de registos necessários para organizações com sistemas de gestão que de algum modo estão relacionados com a medição:

- *Confirmações;*
- *Resultados das medições;*
- *Compras;*
- *Dados operacionais;*
- *Dados de não conformidades e trabalho não conforme;*
- *Reclamações de clientes;*
- *Formação, qualificação dos recursos humanos;*
- *Quaisquer outros dados históricos de suporte ao processo de medição.*

ISO 10012, 6.2.3 [7]

A identificação dos procedimentos técnicos utilizados no sistema de gestão da medição deve ser feita, quer individualmente, quer colectivamente.

Evidência da confirmação metrológica

Tal como referido anteriormente, sendo a confirmação metrológica um processo determinante, os registos devem conter uma identificação do estado de confirmação metrológica do equipamento.

Assim, após conclusão do processo de confirmação metrológica deverá haver evidência de que esse processo foi concluído com sucesso. Essa evidência deverá estar disponível a dois níveis, a saber:

- No suporte documental (físico ou informático);
- No próprio *EM*, sempre em suporte físico.

Qualquer marcação de confirmação deve indicar claramente a data prevista para a próxima confirmação, de acordo com o sistema da organização. A marcação pode também permitir a fácil identificação da pessoa autorizada responsável pela confirmação e da data da última confirmação. Devem ser tomadas todas as precauções razoáveis para evitar qualquer má interpretação intencional ou acidental das etiquetas.

O equipamento de medição, para o qual se decidiu não ser necessária a confirmação, deve ser claramente identificado como tal para que possa ser distinguido do equipamento que requer confirmação, mas cuja marcação desapareceu.

Etiquetas de confirmação metrológica

É prática generalizada que a informação imediata, patente no próprio *EM*, recorra a uma etiquetagem que evidencie a operacionalidade do *EM*. Na ISO 17025 está especificado o mínimo de informação para evidência do estado de calibração:

5.5.8 Sempre que praticável, todo o equipamento sob controlo do laboratório que necessite de calibração deve ser etiquetado, codificado ou identificado por qualquer outro modo, para indicar o estado de calibração, incluindo a data da última calibração e a data da próxima calibração ou os critérios que a estabeleçam.

ISO 17025 [9]

Assim recorre-se a métodos expeditos, eficientes mas simplificados, que por vezes chega ao limite de só ter uma indicação da data da próxima calibração, como é exemplo a figura 8.

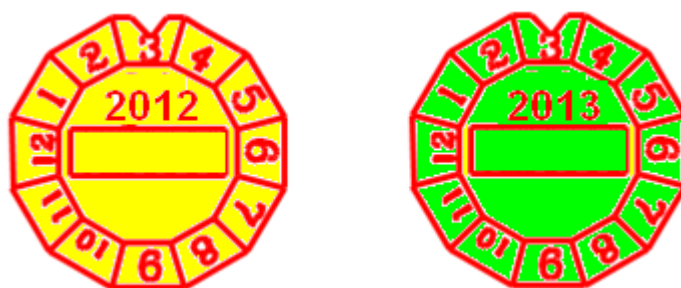


Figura 8 – Etiquetas simplificadas onde consta o ano (inscrito e a que corresponde uma cor da própria etiqueta) e o mês, com marcação por corte na própria etiqueta. A indicação do equipamento é facultativa. Neste exemplo a data da próxima calibração é Março de 2012 (a cor relativa ao ano é amarela) e Março de 2013 (a cor relativa ao ano é verde)

Outra metodologia a que se recorre é um tipo de etiqueta onde o operador já tem os elementos suficientes para decidir da confirmação, pelo que a etiqueta é colocada no equipamento logo após a calibração e a confirmação, tal como apresentado na figura 9.

Notar que este mesmo modelo de etiqueta pode ser utilizado quando a calibração for efectuada em laboratório externo, sendo que nestes casos esta etiqueta é colocada junto da etiqueta de calibração que foi fornecida pelo laboratório externo. O preenchimento da etiqueta é idêntico ao que se realiza na calibração interna.

Notar que ao tipo de etiqueta aqui tratado se chama “etiqueta de confirmação metrológica”.

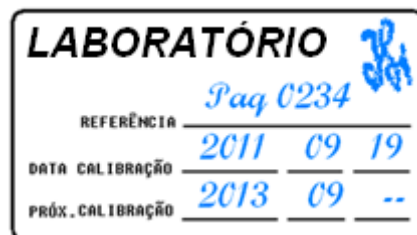


Figura 9 – Etiqueta correspondente a uma calibração simultânea com a confirmação onde consta a identificação do equipamento, a data da calibração, o mês para a próxima calibração e a rubrica do operador.

Uma dificuldade muitas vezes sentida nesta acção de identificação do estado de confirmação metrológica (a que corresponde a evidência de calibração) é onde aplicar a etiqueta. Há equipamentos onde existe uma superfície suficientemente livre para a etiquetagem, mas muitos equipamentos são de reduzidas dimensões, ou as superfícies livres não permitem etiquetagem por interferir com a zona de medição ou de referência. Nestas condições que limitam a etiquetagem, pode recorrer-se a:

- Colocação da etiqueta na embalagem do *EM*.
- Colocação da etiqueta no local onde o equipamento está armazenado.
- Colocação da etiqueta em embalagem apropriada (bolsa transparente, por exemplo) fixa ao equipamento de modo a que não interfira na utilização.

6.6.3 – Recursos materiais

6.6.3.1 – Equipamentos de medição

Estando em análise uma organização onde a medição é o principal “negócio”, o equipamento de medição deve ser considerado como algo a acarinhar de modo particular. Assim, o equipamento de medição que tem por função avaliar se os requisitos metrológicos são cumpridos deve estar sempre disponível e a sua identificação fará parte do sistema de gestão da medição.

A reter

O *EM* que tem tratamento personalizado e particularmente cuidado é aquele que assegura que as especificações do produto são satisfeitas.

O equipamento de medição deve estar devidamente confirmado antes de entrar ao serviço.

Atenção particular deve ser dada às condições ambientais na utilização do *EM*, que devem ser conhecidas com o rigor necessário para assegurar a validade dos resultados de medição, pelo que os *EM* utilizados na monitorização e registo das grandezas de influência também devem ser incluídos no sistema de gestão da medição.

Sempre que possível, o erro máximo admissível¹⁴ dos EM deverá ser definido pela função metrológica, baseado em tolerâncias especificadas pelo cliente ou por requisitos regulamentares. Em situações consideradas como alternativas, poderá ser baseado nas especificações publicadas pelo fabricante do equipamento de medição.

A calibração e a confirmação metrológica poderão ser subcontratadas a outras organizações. No entanto, embora a calibração seja tipicamente uma acção realizada externamente, já a confirmação metrológica é recomendável que seja realizada pela própria organização. De facto, para que uma organização externa possa fazer a confirmação metrológica, torna-se necessário que os detalhes necessários para esse acto sejam fornecidos pelo utilizador.

A gestão da função metrológica deve estabelecer, manter e utilizar procedimentos documentados para a selecção, aquisição, recepção, manuseamento, transporte, armazenamento dos equipamentos de medição, para evitar a má utilização que possa levar a resultados errados e, logo, com influência nefasta no produto.

6.6.3.2 – Instalações e condições ambientais

Dado que o EM é sempre passível de comportamento anómalo se as condições ambientais não forem as apropriadas para a respectiva utilização, deve ser dada particular atenção às mesmas. Além dos requisitos associados ao equipamento de medição, também se deve ter em consideração que os materiais envolvidos na produção ou nos ensaios podem requerer condições ambientais específicas.

Assim, devem ser documentadas as condições ambientais requeridas para a operação eficaz dos processos de medição abrangidos pelo sistema de gestão da medição [7]. Devem ser registadas as condições ambientais que afectam as medições e os registos mantidos com uma periodicidade que deve ser definida e devidamente fundamentada. Também devem ser registadas as correcções aplicadas aos resultados da medição que resultem de condições ambientais.

Orientação dada na ISO 10012 [7]:

Exemplos de condições ambientais que afectam os resultados da medição: temperatura, taxa de variação da temperatura, humidade, iluminação, vibrações, controlo das poeiras, limpeza, interferências electromagnéticas e outros factores.

Uma boa fonte para definição de especificações ambientais é dada pelos fabricantes dos equipamentos (podem fornecer especificações fixando gamas de medição e valores máximos, bem como limites para as condições ambientais para correcto manuseamento dos EM).

Um documento disponível para ajuda no estabelecimento de condições ambientais em laboratórios de calibração é a Recomendação 5/2001 do Conselho Nacional da Qualidade, Condições Ambientais em Laboratórios de Calibração [13].

¹⁴ Este aspecto relacionado com os EM irá merecer tratamento específico em ponto seguinte deste documento.

6.7 - Métodos de ensaios e calibração

6.7.1 - Procedimentos

Este assunto é aqui tratado em termos de anexos com procedimentos de calibração:

Anexo 7 - Procedimento para calibração de paquímetros

Anexo 8 - Procedimento para calibração de micrómetros

6.8 – Incertezas nas medições

As medições feitas em laboratórios de calibração são susceptíveis de erros¹⁵ que podem ser corrigidos mas, inúmeras vezes, essa correcção não é possível. Quer haja correcção, quer não haja, existe sempre uma dúvida acerca daquilo que foi medido.

Em qualquer medição há uma “falta de perfeição”. Essa “falta de perfeição” é designada, actualmente, por “incerteza”. A palavra “erro”, que durante largos anos foi utilizada com esse mesmo significado, está hoje em dia reservada para designar o afastamento entre o valor obtido numa medição e o correspondente valor verdadeiro, o qual é, em geral, desconhecido, segundo Paulo Cabral [14].

Daí que se possa dizer que nenhum resultado de medição está completo sem uma indicação da incerteza associada a essa medição.

Todas as origens de erro se revelam através das pessoas e meios envolvidos:

- Operador;
- Padrão de referência;
- Meios utilizados (meios de transferência, padrão, etc.);
- Instrumento de medição (Anexo 4, pág. 9).

Há sempre outras influências (ambientais e devidas ao método) que se associam a cada uma das principais origens erro referido, podendo ser:

- Resultantes do método de medição.
- Devidas às condições envolventes, (p.e., o ambiente)

Da combinação das múltiplas origens materiais e influências de método e ambientais resulta sempre um componente de erro de valor desconhecido e logo não susceptível de correcção.

No LABORATÓRIO o método de cálculo de incertezas seguido é o do GUM [15] e, para calibrações, o EA-4/02 [16].

O tema de incertezas tem uma abordagem introdutória no Anexo 4 e tem tratamento mais detalhado na referência [14].

¹⁵ Na verdade todas as medições têm, por assunção metrológica, um erro associado; no caso dos laboratórios de calibração esta verdade metrológica – MEDIR É ERRAR – tem particular importância, dado que outras entidades vão medir por referência às medições que o laboratório de calibrações fez.

6.9 – Verificações intermédias do EM

6.9.1 – Verificação – conceito genérico

No domínio das medições, além da calibração e da confirmação metrológica (tratadas em 4) outro termo merece ser aqui tratado: trata-se da verificação.

É pacífico diferenciar a medição da calibração: a calibração é um caso particular da medição, ou seja, para calibrar é sempre necessário medir, mas a medição que se faz durante uma calibração obedece a regras e leva a resultados que são definidos no VIM.

Já o termo verificação não tem sido fácil clarificar, pois ele, no âmbito da metrologia, tem sido utilizado como significando estar-se no domínio da metrologia legal. Mas o termo verificação, usado no âmbito da qualidade - e a metrologia está contida na qualidade - tem uma definição que é muito mais abrangente do que o restrito campo da metrologia, mesmo que a legal¹⁶ (acerca do conceito de Metrologia Legal, ver o Anexo 3).

A norma ISO 9001:2008, em 7.6, refere que, para “controlo dos dispositivos de monitorização e medição” e “onde for necessário assegurar resultados válidos, o equipamento de medição deve” ... “ser calibrado ou verificado”.

Este termo – verificado – tem levado a que algumas organizações entendam que podem simplesmente substituir todas as calibrações por verificações, o que é de todo uma interpretação errada.

A verificação é um acto do âmbito da qualidade e que tem definição na EN ISO 9000:2005, mas que não pode substituir o conceito de calibração.

O termo verificação tem a seguinte definição:

Verificação:

Confirmação, através de evidência objectiva, de que os requisitos especificados foram satisfeitos.

Nota 1: O termo “verificado” é utilizado para designar o estado correspondente.

Nota 2: A confirmação pode compreender actividades tais como:

- realização de cálculos alternativos;
- comparação de uma nova especificação de concepção com uma outra semelhante já experimentada;
- realização de ensaios e demonstrações;
- revisão dos documentos, antes da sua emissão

[10] EN ISO 9000:2005, 3.8.4

De um modo bastante directo podemos dizer que uma verificação não é um acto exclusivamente metrológico, pois ela é eminentemente um acto da qualidade. Na Metrologia a verificação é sempre um acto subsequente a uma medição ou uma detecção em termos de “sim/não”.

¹⁶ Quando se pretender utilizar o termo verificação no âmbito da metrologia legal, recomenda-se a utilização da expressão completa “Verificação Metrológica Legal”, já que na norma ISO 10012 existe a utilização da expressão “Verificação Metrológica” no Âmbito da Metrologia Aplicada (ou Metrologia Industrial).

Avaliar a conformidade de uma fita métrica observando-a para detectar se a pintura da escala está completa, ou se a patilha de apoio está devidamente deslizante, é uma verificação que resulta de observação acerca de atributos.

- **Um atributo de um Equipamento de Medição é submetido a uma verificação;**
- **Uma grandeza mensurável de um Equipamento de Medição só pode ser rastreada aos padrões do SI através de uma calibração.**

6.9.2 – Verificações entre calibrações

No âmbito das actividades normais de uma empresa, é muitas vezes necessário fazer verificações de funcionamento do Equipamento de Medição entre calibrações, transformando-se uma grandeza mensurável num atributo que se verifica se está ou não a ser respeitado. Tal modo de trabalhar é perfeitamente correcto, pois só vem melhorar a confiança que se deposita num instrumento que foi devidamente calibrado, mas que, por imponderáveis, pode subitamente responder de modo incorrecto.

O IPQ, no âmbito da acreditação de laboratórios, publicou um guia interpretativo da NP EN ISO/IEC 17025, [9] onde se procura clarificar o conceito “verificação” no domínio dos equipamentos de medição:

5.5.2 A calibração e ensaio DEVEM ser entendidas como um meio para conhecer as características metrológicas e/ou funcionais dos equipamentos - o equipamento pode ter sido calibrado/ensaiado, mas apresentar erros/características que inviabilizem o seu uso nos ensaios/calibrações. Considera-se a verificação como o acto de estabelecer a conformidade com requisitos especificados e assim confirmar a sua aptidão ao uso. DEVEM existir critérios de aceitação/rejeição dos equipamentos (nomeadamente valores máximos ou mínimos aceitáveis (VMA), face aos fins e usos a que se destinam – ver §5.5.5.f) da NP EN ISO/IEC 17025) que permitam analisar os resultados das calibrações/ensaios efectuados e tomar decisões quanto ao seu uso e destino (apto, uso parcial ou restrito, reclassificação, aguarda reparação ou ajuste ou retirada de serviço).

Recomenda-se que, na ausência de especificações sobre como avaliar a conformidade com o critério de aceitação/rejeição, estabelecidas por documentos normativos, legislação, etc. seja usada a seguinte metodologia de avaliação:

- a soma do módulo do erro com o módulo da incerteza associada seja inferior ou igual ao valor máximo aceitável (VMA¹⁷) para o equipamento (i.e.,

$$| \text{erro} | + | \text{incerteza} | \leq | \text{VMA} |$$

Nota: Para avaliar a conformidade com um único limite (superior ou inferior), pode ser mais apropriado usar um valor de incerteza com um factor de expansão corrigido para um teste unilateral.

OGC001 - GUIA PARA A APLICAÇÃO DA NP EN ISO/IEC 17025, de 2010 [17]

¹⁷ Notar que “valor máximo aceitável” se refere ao erro e não ao valor da mensuranda

6.10 – Confirmação Metrológica

6.10.1 – Confirmação Metrológica no LABORATÓRIO

No LABORATÓRIO, quando de calibrações internas, a confirmação metrológica é realizada imediatamente após a calibração pelo próprio operador, para o que lhe são fornecidos pelos utilizadores dos equipamentos todos os elementos necessários para que a confirmação metrológica possa ser feita.

No entanto, o responsável pela confirmação metrológica é o Director do Laboratório que valida os certificados de calibração e a respectiva confirmação metrológica, ou delega em técnico habilitado (em situações em que a decisão se baseia em dados objectivos).

No anexo 6 consta um plano de calibração / confirmação metrológica de equipamento de medição (incluindo os padrões de referência).

6.10.2 - Decisões após confirmação

Do resultado da confirmação será o equipamento aceite ou rejeitado. Se for aceite, antes da colocação em serviço é explorada a possibilidade de alterar o prazo de validade entre calibrações ou mantê-lo, segundo os princípios definidos no Documento 10 da OIML.

Se não for aceite, é decidida uma das quatro possibilidades:

- a) o equipamento é submetido à operação de **ajuste** a qual é definida como:

Ajuste de um sistema de medição / adjustment of a measuring system / ajustage d'un système de mesure

Conjunto de operações realizadas num sistema de medição para que ele forneça as indicações correspondentes aos valores dados da grandeza a medir

NOTA 1 O ajuste de zero de um sistema de medição, ajuste de desvio, ajuste de gama (também chamado ajuste de ganho) são tipos diversos de ajuste.

NOTA 2 O ajuste de um sistema de medição não deve confundir-se com a sua calibração, a qual é prévia ao ajuste.

NOTA 3 Depois do ajuste de um sistema de medição, este deve ser geralmente recalibrado.

Vocabulário Internacional de Metrologia de 2008 – IPQ [6]

Após esta operação, e se o instrumento for levado ao seu funcionamento normal, deverá ser efectuada uma nova calibração.

- b) O instrumento é submetido a uma **reparação e ajuste**, devendo ser novamente submetido a calibração;

c) o equipamento é **desclassificado**, com evidência inequívoca dessa desclassificação; a desclassificação pode não ser definitiva, pois uma posterior operação de ajuste ou reparação pode permitir aquilo que se chama “reclassificação”. A desclassificação dá-se por exemplo, quando um instrumento de grande exactidão que era utilizado no laboratório, devido a ter perdido características metrológicas (fidelidade, por exemplo), passou a ser utilizado em medição de peças na produção, onde é admissível menor exactidão.

d) o equipamento é **retirado de serviço**; ao que deve corresponder uma marcação clara dessa retirada, prevenindo qualquer fortuita ou intencional utilização futura (Figura 10).

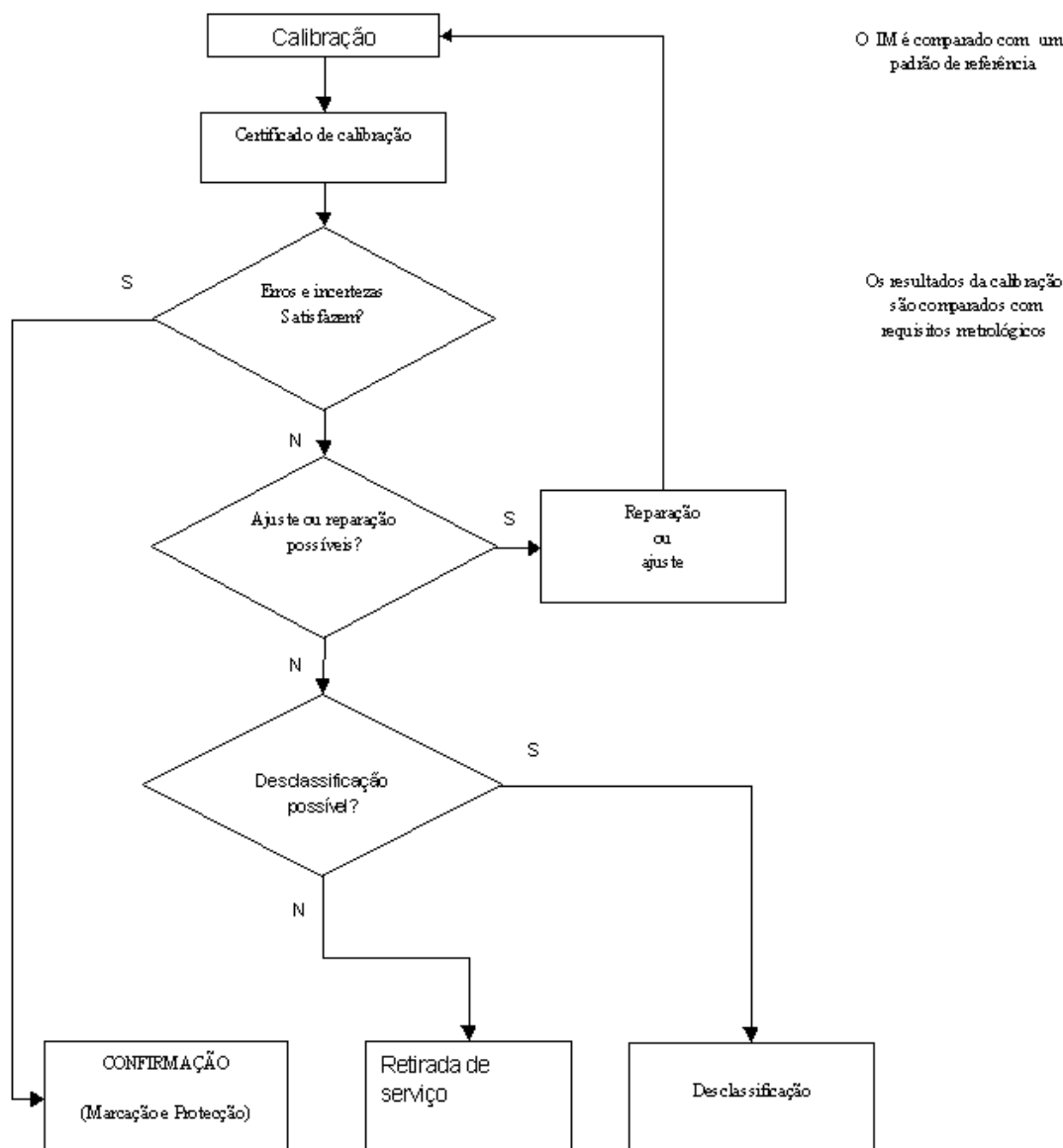


Figura 10 – Decisões após confirmação metrológica

6.11 – Intervalo entre calibrações / confirmações

6.11.1 – Em busca da optimização para os intervalos entre calibrações

As organizações industriais, particularmente quando possuidoras de um grande parque de equipamentos de medição, procuram definir intervalos entre calibrações que permitam confiar nas medições durante a validade da periodicidade, mas não podem apertar indiscriminadamente esses intervalos para valores tão pequenos que faça com que a calibração seja encargo insuportável para a empresa.

Os responsáveis por processos de medição são continuamente pressionados pelos gestores para que reduzam o número de calibrações, enquanto os responsáveis da qualidade insistem na necessidade de manter elevado o controlo dos equipamentos de medição; esta constatação é sentida em todo o universo industrial.

Mas decisões restritivas ou permissivas levam sempre a custos totais mais elevados quando as decisões, indevidamente, levam para intervalos muito pequenos, ou muito grandes (figura 11).

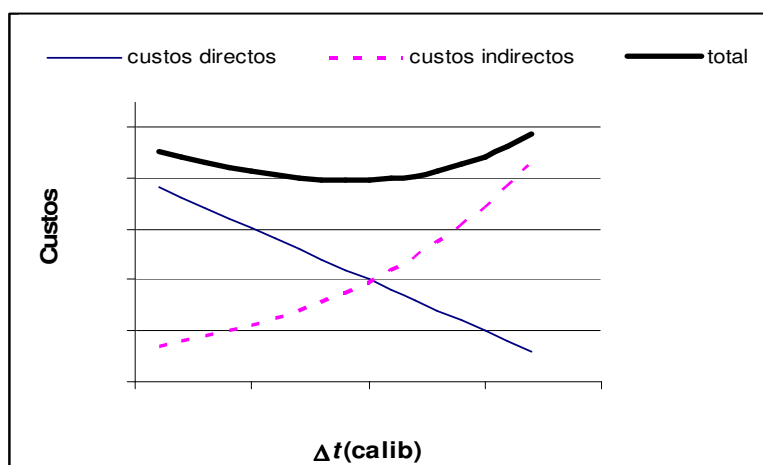


Figura 11 – Balanço de custos directos e indirectos em função do intervalo entre calibrações

O processo de calibração tem impacto na actividade da empresa que pode ser analisado em sob duas ópticas:

- encargos directos associados à calibração e verificação do equipamento;
- encargos indirectos quando o equipamento está inoperacional.

Há que minimizar os riscos decorrentes da utilização do equipamento inadequado e, simultaneamente, minimizar os custos derivados do processo de calibração e verificação.

Decidir da periodicidade de calibração é competência da organização, a qual terá que:

- 1 - obter a informação necessária (por vezes esta informação é muito reduzida);
- 2 - estabelecer um plano de gestão das medições, considerando a aplicação dos *EM* e as características que lhes estão associadas;
- 3 - seleccionar métodos adequados que conduzam à optimização dos intervalos entre calibrações.

Os métodos disponibilizados são já seguidos há mais de 20 anos pelo Guia OIML 10, recentemente revisto [18].

6.11.2 - Informação acerca dos equipamentos de medição [19]

A recolha de informação pode ter origem diversa, tal como Informação do fabricante, bibliografia técnico-científica e histórico de equipamento idêntico.

Mas a informação necessária vai além das condições intrínsecas ao equipamento (características metrológicas e robustez), estendendo-se também para de que modo o equipamento vai ser solicitado durante as medições, nomeadamente as exigências da sua utilização, condições ambientais, pessoal que o vai utilizar e o historial de calibração. O historial tem associado um parâmetro determinante para a decisão fundamentada de ajuste de intervalos de calibração – a deriva¹⁸. Quanto maior for o historial, mais seguro será o processo de concretização do estudo do intervalo entre calibrações.

Informação útil para o objectivo (optimizar os intervalos entre calibrações):

- Natureza da aplicação e de serviço,
 - mensuranda e tolerância envolvida;
 - tipo de utilização e condições ambientais a que o equipamento vai ser sujeito;
 - formação necessária para o pessoal envolvido nas medições.
- Historial de calibrações (quando disponível),
 - deriva observada (histórico de calibrações);
 - incerteza e eventual degradação ao longo do tempo.
- Requisitos da qualidade
 - requisitos de garantia da qualidade;
 - taxa de falhas;
 - criticidade associada a eventuais falhas.

Os métodos para optimização dos intervalos de calibração procurando a redução de encargos com esse processo, envolve recursos que decorrem da análise prévia, desenvolvimento do método e a sua manutenção.

Em muitos casos, apenas uma parte da instrumentação é responsável por uma parte significativa dos riscos e dos encargos associados. Em laboratórios de metrologia, por exemplo, verifica-se uma concentração substancial nos padrões de referência que ocupam o topo das cadeias de rastreabilidade internas.

Assim, deve desenvolver-se um plano de optimização dos intervalos de calibração (uso da regra de Pareto, por exemplo) considerando que cerca de 20 % dos *EM* serão responsáveis por cerca de 80 % do custo. Isto pode obrigar a maior rigor na definição dos intervalos de calibração daqueles

¹⁸ A deriva instrumental pode ser definida como a alteração contínua ou incremental da indicação de um instrumento de medição no tempo, devida à variação das suas propriedades metrológicas

20%, utilizando métodos que levam a uma convergência mais rápida para intervalos otimizados e métodos mais simplificados para os restantes casos relacionados com os 80 % da regra de Pareto..

6.11.3 – Métodos de optimização dos intervalos de calibração

Para esta selecção duas situações se nos apresentam:

não existe historial acerca dos equipamentos de medição;

existe historial acerca dos equipamentos de medição;

Quando não existe historial, estamos geralmente perante a decisão acerca da definição do intervalo inicial de calibração, a qual se baseia nos seguintes factores:

recomendações de fabricantes;

condições expectáveis da severidade da utilização do EM;

influência de condições ambientais;

incerteza de medição requerida;

erro máximo admissível (quando especificado por regulamentos ou normalização);

dados disponibilizados (p.ex, em documentos publicados)

Um documento que ainda hoje é utilizado para ajuda nesta situação é uma recomendação que foi publicado pelo Conselho Nacional da Qualidade de 1999, Recomendação CNQ 4/99, “Exemplos de períodos iniciais de calibração de instrumentos de medição” [12]. Este documento tem por base estudos desenvolvidos em diversos ambientes industriais, nomeadamente no GUIDE TO QUALITY IN ANALYTICAL CHEMISTRY CITAC/Eurachem Guide, com posterior reedição (2002), e nele são sugeridas periodicidades para instrumentos tendo em consideração as próprias características dos EM. Partindo do princípio de que o primeiro intervalo de calibração foi definido com deficientes parâmetros para decisão, há que recorrer a métodos que podem ser aplicados no ajuste para optimização daqueles intervalos, desde os mais simples, envolvendo uma relação directa com uma periodicidade estabelecida com base em histórico interno ou externo, até métodos mais complexos associados a uma capacidade preditiva apoiada na utilização do método da máxima verosimilhança aplicado à função de fiabilidade.

Os métodos mais comuns encontram-se descritos em documento publicado pela OIML [18], e podem descrever-se como:

- Ajustamento automático “staircase” (baseado no calendário);
- Cartas de controlo (baseado no calendário);
- Tempo de calendário;
- Tempo de utilização;
- Controlo em curso de utilização, ou ensaio por meio de uma caixa negra.

Método 1 - • Ajustamento automático “staircase” (baseado no calendário)

Este é o tipo mais simples de concretizar, sendo facilmente aplicável a equipamentos e padrões de trabalho com menores requisitos de exactidão e, frequentemente, envolvendo menores custos associados à calibração. A sua análise é menos exigente e possui uma convergência lenta para o intervalo óptimo de calibração.

Os restantes são crescentemente mais exigentes e rigorosos, nomeadamente, nos requisitos de informação de entrada mas a convergência é, em regra, mais elevada tornando-os recomendáveis para equipamentos de referência e para os que envolvem custos de calibração mais significativos para a organização.

Assim, de cada vez que o equipamento é calibrado, o intervalo seguinte será mantido ou mesmo aumentado se o equipamento estiver dentro das tolerâncias, ou diminuído se estiver fora das mesmas.

O registo dos dados e a sua análise pode detectar eventuais problemas vindos de um grupo de equipamentos, sendo de explorar uma eventual modificação técnica ou estabelecimento de uma manutenção preventiva.

Um inconveniente quando se faz o tratamento individual dos equipamentos pode ser a dificuldade de assegurar a flexibilidade e a repartição da carga de trabalho que constituem as operações de confirmação.

Método 2 - Carta de controlo (baseado no calendário)

Neste método escolhem-se os mesmos pontos de calibração em cada confirmação e os resultados são colocados num gráfico em função do tempo. A partir deste gráfico calculam-se a dispersão e a deriva, podendo esta última ser a deriva média durante o intervalo de confirmação, ou a deriva entre vários intervalos no caso de EM estáveis. Com estes indicadores, calcula-se uma deriva efectiva.

Este método oferece algumas dificuldades, podendo mesmo ser de muito difícil aplicação no caso de equipamentos complexos e, na prática, só pode ser aplicado com recursos a meios de cálculo automático. Antes de se iniciarem os cálculos é necessário reunir um grande número de informações acerca da lei da variabilidade do equipamento (ou equipamentos semelhantes). Podem considerar-se variações consideráveis dos intervalos de confirmação em relação aos intervalos prescritos a priori sem invalidar os cálculos; a fiabilidade pode ser calculada e obter-se o intervalo de confirmação correcto. O cálculo da dispersão indicará se os limites das especificações fornecidas pelo fabricante são razoáveis e a análise da deriva detectada pode ajudar a encontrar as suas causas.

Método 3 - Por tempo de calendário

Os equipamentos são inicialmente agrupados com base na sua semelhança de construção e na semelhança esperada para a fiabilidade e estabilidade. Fixa-se um intervalo de confirmação a priori com base em informações de fabricantes ou experiência prévia.

Em cada grupo determina-se a quantidade de itens (EM) que, no final do intervalo de confirmação fixado, se encontram com erros excessivos ou têm outras propriedades metrológicas muito alteradas, e expressa-se esse número como uma proporção do número total de elementos desse grupo, confirmados durante um determinado período. Ao contabilizar os equipamentos não-conformes excluem-se aqueles que estão claramente avariados e aqueles que levantaram suspeitas de estarem avariados. Se a proporção de itens não-conformes foi muito elevada, o intervalo de confirmação deve ser reduzido. Se os elementos de um determinado subgrupo não se comportam como os demais membros do grupo, este subgrupo deve ser retirado e incorporado num outro subgrupo diferente, ou com um intervalo de confirmação diferente. O período durante

o qual se avalia o comportamento de um subgrupo deve ser tão curto quanto possível, mas suficiente para que os resultados estatísticos sejam significativos.

Se a proporção de itens não conformes num determinado grupo for bastante baixa, pode ser economicamente justificável aumentar o intervalo de confirmação.

Método 4 – Por tempo de utilização

Trata-se de uma variante dos métodos do tempo de calendário e de carta de controlo.

As bases daqueles métodos mantêm-se, mas o intervalo de confirmação é expresso em horas de utilização. O instrumento está munido de um indicador de tempo de utilização decorrido e é enviado para confirmação quando o tempo registado atinge um valor especificado. A vantagem deste método é que o número de confirmações realizadas varia directamente com a utilização do equipamento (logo também directamente com o custo associado), além de que o controlo do equipamento pode ser automatizado. Este método é seguido em muitas máquinas de alta tecnologia como é o caso de máquinas de medir por coordenadas.

Os inconvenientes apontados a este método, são:

- o método não é aplicável a instrumentos ou padrões passivos (atenuadores, resistências, medidas materializada, etc.);
- o método não deve ser utilizado em *EM* que, mesmo estando fora de serviço, continua a poder ter deriva, ou quando pode ter comportamento alterado nos ciclos de arranque (seria mais indicado um sistema combinado com um contador de ciclos);
- o custo associado ao contador de tempo pode ser muito elevado para equipamentos correntes;
- o equipamento deve estar munido de um sistema de protecção e/ou aviso para eventual desregulação do cronómetro;
- o método é totalmente reactivo, não sendo possível aplica-lo na generalidade das utilizações industriais onde não se sabe quando vai acontecer o limite de tempo de utilização (não recomendável predictivamente).

Método 5 - Controlo em curso de utilização, ou ensaio por meio de uma caixa negra

Este método é utilizado em operações efectuadas a título de complemento entre duas operações de confirmação complexas. Pode fornecer informações intermediárias úteis sobre as características de um equipamento de medição, durante o intervalo entre confirmações completas e indicações sobre a adequação do programa de confirmação.

Trata-se de uma variante dos métodos 1 e 2, e é particularmente adaptado a equipamentos complexos. Os parâmetros críticos são verificados frequentemente, por vezes diariamente, ou mesmo mais que uma vez ao dia, por meio de um instrumento de verificação dedicado (a tal caixa negra) que verifica todos os parâmetros seleccionados. Se a “caixa negra” mostra não-conformidade de pelo menos um dos parâmetros, o equipamento é retirado para uma confirmação completa.

As principais limitações deste método são:

- a possibilidade de retirada intempestiva de serviço do equipamento, o que impede planeamento apropriado da utilização;
- a selecção dos parâmetros a controlar, que deve ser tecnicamente muito bem suportada;
- a possível falha do equipamento de verificação, pelo que também este deve ser verificado periodicamente.

6.11.4 – Resumo dos métodos

Resumindo: os métodos utilizados para revisão do intervalo de calibração são de dois tipos:

- Métodos reactivos (para os quais o ajustamento do intervalo de calibração resulta de dados históricos de calibração e é realizado *a posteriori*);
- Métodos preditivos (estatísticos e probabilísticos) suportados na função de fiabilidade e com recurso ao método da máxima verosimilhança.

Um método reactivo utilizado em laboratórios de ensaio e calibração (também de cariz empírico) é o que utiliza a seguinte inequação:

$$P(M) \leq 12 \times \frac{CA \times FS - U}{DA} \quad (6)$$

$P(M)$	periodicidade em meses
CA	Critério de aceitação
FS	Factor de Segurança
U	Incerteza expandida (certificado)
DA	Deriva anual

6.12 – Apresentação dos resultados (certificados de calibração)

6.12.1 – Requisitos ISO 17025 para os certificados de calibração

A ISO 17025 considera como necessárias algumas informações que devem constar no conteúdo do certificado de calibração, pelo que os certificados de calibração devem conter o seguinte (5.10.2 e 5.10.4 de [9]):

- a) um título: no LABORATÓRIO o título é “Certificado de Calibração”¹⁹.
- b) o nome e a morada do laboratório, e o local onde foram realizados as calibrações no caso de não ter sido no laboratório: calibrações que sejam feitas em “chão de fábrica” deverão ser assinaladas como tendo sido realizadas em (indicar o local exacto, departamento, oficina, sala, etc.);
- c) a identificação única do certificado de calibração, indicação da paginação, que permita que essa página seja reconhecida como fazendo parte desse certificado de calibração e uma informação clara do final do certificado;
- d) o nome e a morada do cliente: no LABORATÓRIO deverá ser indicado o departamento a quem se destina a calibração e o nome do responsável pelo equipamento calibrado.
- e) identificação do método utilizado: se houver norma, esta deve ser indicada no certificado, bem como a identificação do procedimento de suporte;
- f) a descrição, estado e identificação inequívoca dos itens calibrados. Mesmo que o equipamento esteja em muito boas condições, isso deve ser assinalado no certificado.
- g) a data de recepção dos itens para calibração (se tal for essencial para a validade e utilização dos resultados) e as datas da realização da calibração. No LABORATÓRIO deverá constar sempre a data em que o equipamento foi colocado ao dispor do laboratório para a calibração. Isto tem como finalidade estudo estatístico de tempo de resposta e será utilizado pela Qualidade tendo em visto a melhoria deste campo (tempo de resposta);
- h) os resultados da calibração, incluindo as unidades de medida, que deverão respeitar o Decreto-Lei nº 128/2010 [8].
- i) o nome, função e assinatura da pessoa que autoriza o certificado de calibração. Embora a ISO 17025 preveja que pode haver mais do que um responsável, no LABORATÓRIO considera-se que somente é necessária uma assinatura. Por outro lado, a assinatura do operador pode ser dispensada, desde que este esteja identificado nos registos da calibração. Nas calibrações em que o próprio operador é autorizado a fazer a confirmação metrológica, será este operador a pessoa que autoriza o certificado de calibração.
- j) quando relevante, uma declaração em como os resultados se referem aos itens calibrados.
- k) as condições (por exemplo ambientais). No LABORATÓRIO é absolutamente necessário indicar a temperatura e humidade relativa em que ocorreu a calibração.

¹⁹ Algumas organizações utilizam “Boletim de Calibração”, o que é entendido como aceitável.

- l) a incerteza (ou declaração de conformidade). No LABORATÓRIO, mesmo que seja feita declaração de conformidade, deverá ser sempre estimada a incerteza de calibração.
- m) a evidência da rastreabilidade das medições.

6.12.2 – Informação do estado do EM antes de ajuste

Na ISO 17025 é referido que, sempre que houver ajuste ou reparação do item, devem ser disponibilizados os resultados obtidos antes da calibração (se disponíveis) (5.10.4.3 de [9])

Este requisito é de grande importância para a organização cliente. De facto, qualquer sistema de gestão da qualidade deve dominar completamente todas as situações em que ocorre trabalho não conforme, mesmo que esse trabalho não conforme exista somente como não conformidade potencial. Qualquer alteração feita num determinado equipamento é geralmente tendente a fazer com que esse equipamento fique a funcionar bem, o que significa que a partir dessa altura e durante um determinado período o equipamento vai medir bem. Mas ficamos sem saber o que aconteceu nas medições efectuadas antes de a alteração ter sido feita, pelo que é necessário saber se ocorreram medições com o equipamento não conforme e a informação do estado antes de ajuste ou reparação é decisiva para avaliação de medições potencialmente erradas. Se o equipamento foi ajustado ou reparado é porque estava em deficientes condições de medição. Geralmente é impossível saber durante quanto tempo o equipamento mediu nessas condições, mas devem ser exploradas todas as possibilidades de pesquisa de eventual produto não conforme ainda em armazém ou em linha de produção. A indicação do estado do equipamento antes do ajuste ou reparação é útil exactamente para essa pesquisa.

- As etiquetas de calibração (ou certificado) não devem incluir recomendações de prazo de validade. No entanto, se houver acordo prévio com o cliente, devidamente documentado, essa recomendação já pode constar da etiqueta ou do certificado. Também podem existir disposições legais com estabelecimento de prazos, que deverão que ser cumpridas (5.10.4.4 de [9]);
- As opiniões e interpretações que forem incluídas num certificado de calibração, devem ser claramente assinaladas como tal (5.10.5 de [9]);

5.10.5 Opiniões e interpretações

Quando forem incluídas opiniões e interpretações, o laboratório deve documentar as bases em que estas opiniões e interpretações se fundamentam. Nos relatórios de ensaio, as opiniões e interpretações devem ser claramente assinaladas como tais.

NOTA 1: *As opiniões e interpretações não deverão ser confundidas com as inspecções e as certificações de produto previstas na norma ISO/IEC 17020 e no Guia ISO/IEC 65.*

NOTA 2: *As opiniões e interpretações incluídas num relatório de ensaio poderão incluir, mas sem se limitar, às seguintes informações:*

- *uma opinião sobre a declaração de conformidade ou não-conformidade dos resultados com requisitos;*
- *o cumprimento dos requisitos contratuais;*
- *recomendações sobre o modo de utilizar os resultados;*
- *orientações a seguir para introduzir melhorias.*

NOTA 3: *Em muitos casos, poderá ser conveniente comunicar as opiniões e interpretações através de um diálogo directo com o cliente. Este diálogo deverá ser registado.*

ISO 17025 [9]

- Quando aplicável, é necessário assinalar resultados de subcontratações (5.10.6 [4]). No LABORATÓRIO não se recorre a subcontratação de calibrações. Se for necessária uma subcontratação, considerar-se-á tratar-se de calibração externa

5.10.6 Resultados de ensaios e calibrações fornecidos pelos subcontratados

Sempre que o relatório de ensaio inclua resultados de ensaios realizados por subcontratados, tais resultados devem ser claramente identificados. O subcontratado deve apresentar estes resultados por escrito ou em suporte electrónico.

Sempre que se tenha subcontratado a realização de uma calibração, o laboratório que realizar o trabalho deve emitir o certificado de calibração para o laboratório contratante.

ISO 17025 [9]

- Cumprir a ISO 17025 no caso de transmissão electrónica de dados (5.10.7 e 5.4.7 de [9]);

5.4.7 Controlo de dados

5.4.7.1 Os cálculos e as transferências de dados devem ser submetidos a verificações apropriadas de forma sistemática.

5.4.7.2 Sempre que sejam utilizados computadores ou equipamentos automatizados para aquisição, processamento, registo, apresentação, armazenamento ou recuperação de dados de ensaio ou de calibração, o laboratório deve garantir que:

- a) o *software* desenvolvido pelo utilizador esteja suficientemente documentado e validado como apto ao uso;
- b) sejam estabelecidos e implementados procedimentos para protecção dos dados; estes procedimentos devem incluir, mas não limitar-se à integridade e confidencialidade da introdução e recolha de dados, seu armazenamento, transmissão e processamento;
- c) os computadores e o equipamento automatizado tenham manutenção, para garantir um funcionamento adequado, e disponham das condições ambientais e de funcionamento necessárias à preservação da integridade dos dados de ensaio ou de calibração.

NOTA: O *software* comercial (por exemplo, programas de processamento de texto, base de dados ou estatísticos) de utilização generalizada no âmbito da sua gama de aplicação prevista, poderá ser considerado suficientemente validado. No entanto, a configuração e as modificações introduzidas no *software* pelo laboratório, deverão ser validadas de acordo com a secção 5.4.7.2 a).

ISO 17025 [9]

- O formato do certificado deve minimizar a possibilidade de má compreensão ou uso incorrecto (5.10.8 de [9]). Cuidado especial deve ser dado à configuração do certificado, não hesitando em dar informação redundante quando existir possibilidade de equívoco de interpretação. Os cabeçalhos dos certificados são, tanto quanto possível, perfeitamente estereotipados.

6.12.3 – Emendas nos certificados de calibração

- Sob a forma de um suplemento:

«Suplemento ao certificado nº (número do certificado ou qualquer outra identificação).

- Através da edição de um novo documento:

Identificação própria, de modo inequívoco, e conter referência ao documento que está a ser substituído

(5.10.9 de [9])

Deve ser dada preferência ao método de emenda através da edição de novo documento, por ser de mais fácil utilização por parte do cliente da calibração.

6.12.4 – Certificados conclusivos e não conclusivos

Regressando à definição de calibração, verificamos que estabelecer uma relação entre os valores da grandeza provenientes de padrões e as indicações correspondentes não constitui uma declaração de que o instrumento está apto a medir aquilo que se pretende. Outras propriedades metrológicas determinadas na calibração também não são acompanhadas de qualquer declaração de conformidade.

Assim, não faz sentido que a calibração permita a emissão de uma etiqueta que diga “calibrado” ou “não calibrado” como, em documentos antigos, era suposto fazer. A etiqueta deverá, isso sim, dizer que a calibração foi realizada em determinada data.

A conclusão é que:

a calibração por si própria não é conclusiva da conformidade do instrumento de medição

Esta conclusão não é muito animadora para quem gostaria de entregar os instrumentos para calibrar e eles viessem acompanhados de um “papel” que dissesse que tudo está bem e que se pode utilizar de imediato o equipamento porque este se encontra em bom estado de medição.

No entanto facilmente nos apercebemos de que os erros, incertezas e outras propriedades metrológicas podem ser muito bons para determinadas medições e perfeitamente inaceitáveis para outras.

A norma NP EN ISO/IEC 17025 contempla o princípio de permitir a emissão de certificados conclusivos.

É claro que a declaração de conformidade é uma opção para além da calibração, correspondendo previamente a uma instrução dada pelo utilizador acerca de uma “*especificação metrológica identificada, ou com cláusulas dessa especificação*” (ISO 17025, 5.10.4.1) que suporte a declaração de conformidade do instrumento. Trata-se evidentemente de um serviço que é possível prestar para além da simples calibração e que corresponderá a um pormenor da análise de contrato.

De notar que a norma ISO 17025 diz:

Quando forem emitidas declarações de conformidade, deve ter-se em conta a incerteza de medição.

3º § de 5.10.4.2 da NP EN ISO/IEC 17025 [9]

6.13 – Plano de Calibração

Ao dar tanta ênfase à confirmação metrológica seria de esperar que devesse existir um plano de confirmação que contivesse informação suficiente para identificar os instrumentos e os circuitos espaciais e temporais para manter actualizada a situação de cada item.

No entanto, olhando para os nossos planos de calibração verificamos que eles cumprem de facto as funções de um plano de confirmação.

Dada a instituição que é o plano de calibração, parece de manter ainda a actual denominação.

Para um correcto plano de calibração considera-se como mínima a informação associada aos seguintes campos:

- identificação inequívoca do instrumento;
- a data da última calibração e o período de validade (ou data da próxima calibração);
- entidade que procede à calibração (ou rastreabilidade para calibrações internas);
- os responsáveis pela execução das calibrações (quando se trate de calibrações internas);
- os procedimentos de calibração a utilizar (quando se trate de calibrações internas);
- padrões utilizados (quando se trate de calibrações internas).

6.14 – Equipamento não conforme

Um instrumento de medição (ou outro equipamento equivalente) perde a sua capacidade se:

- sofrer sobrecarga ou mau manuseamento
- apresentar alguma disfunção
- indiciar dúvida quanto ao funcionamento
- estiver danificado
- apresentar alteração nos dispositivos de protecção
- tiver sido ultrapassada a validade de confirmação

Qualquer detecção de não conformidade num *EM* deve levar à retirada imediata de serviço, quer por segregação física, quer por evidente etiquetagem ou marcação.

Como quaisquer outras não conformidades, também aqui se deve proceder a medidas correctivas e preventivas.

Particular atenção se deve tomar às medidas correctivas que levem a avaliar o risco de terem ocorrido erros significativos em qualquer uma das medições efectuadas com o equipamento antes da detecção da não conformidade.

Outro tipo de não conformidade pode ser a que ocorre quando da calibração de um instrumento revela que este se encontra com erros fora dos limites admissíveis, o que pode ter levado a medições feitas durante um período em que este equipamento esteve fora de controlo.

O Sistema de Gestão da Qualidade deve assegurar que os equipamentos abrangidos pelas não conformidades não podem ser utilizados fortuita ou intencionalmente enquanto não forem consumadas as acções correctivas e preventivas apropriadas.

6.15 - Auditorias ao sistema de gestão do *EM*

À mulher de César, não basta ser séria, tem de o parecer!

Na gestão do EIME, este “princípio” obriga à evidência periódica da "seriedade" do sistema de confirmação metrológico.

Assim, a validade do sistema tem que ser testada através de auditorias periódicas e sistemáticas, as quais devem ser devidamente documentadas de acordo com as publicações aplicáveis.

Os planos e procedimentos aplicáveis às revisões e às auditorias da qualidade devem encontrar-se documentados, bem como também devem ser registadas as auditorias, as revisões e as acções correctivas.

Estas auditorias são de índole interna, podendo, como noutros domínios da Qualidade, serem subcontratadas.

Um modelo de ficha-tipo para resumo de auditoria parcial ao Sistema de Gestão do *EM* pode ser apreciado na figura 12.

[illegible]

1	11	21
2	12	22
3	13	23
4	14	24
5	15	25
6	16	26
7	17	27
8	18	28
9	19	29
10	20	30

Figura 12 – Ficha-tipo de auditoria parcial ao Sistema de Gestão da Medição

7 – Processos

7.1 – Processo de “Seleccção e aquisição do equipamento de medição e serviços relacionados”

Este processo é descrito no ponto 6 deste trabalho.

O resumo do processo pode ser esquematizado conforme o fluxograma da figura 13.

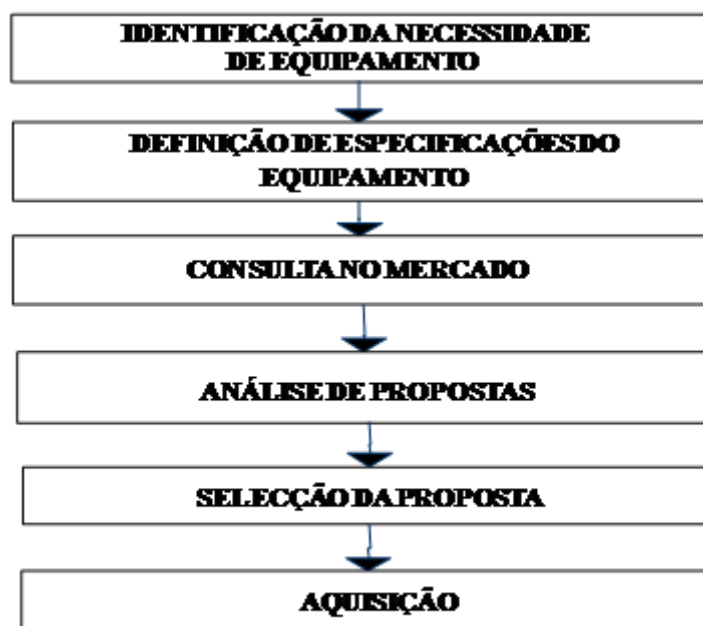


Figura 13 – Processo “Seleccção e aquisição do equipamento de medição e serviços relacionados”

Neste processo as entradas são as especificações das medições a serem efectuadas, dados que resultam de um processo da área fabril.

A saída deste processo é o acto de adquirir o equipamento de medição.

7.2 – Processo de “Recepção e identificação do equipamento de medição”

Este processo pode ser esquematizado conforme o fluxograma da figura 14.

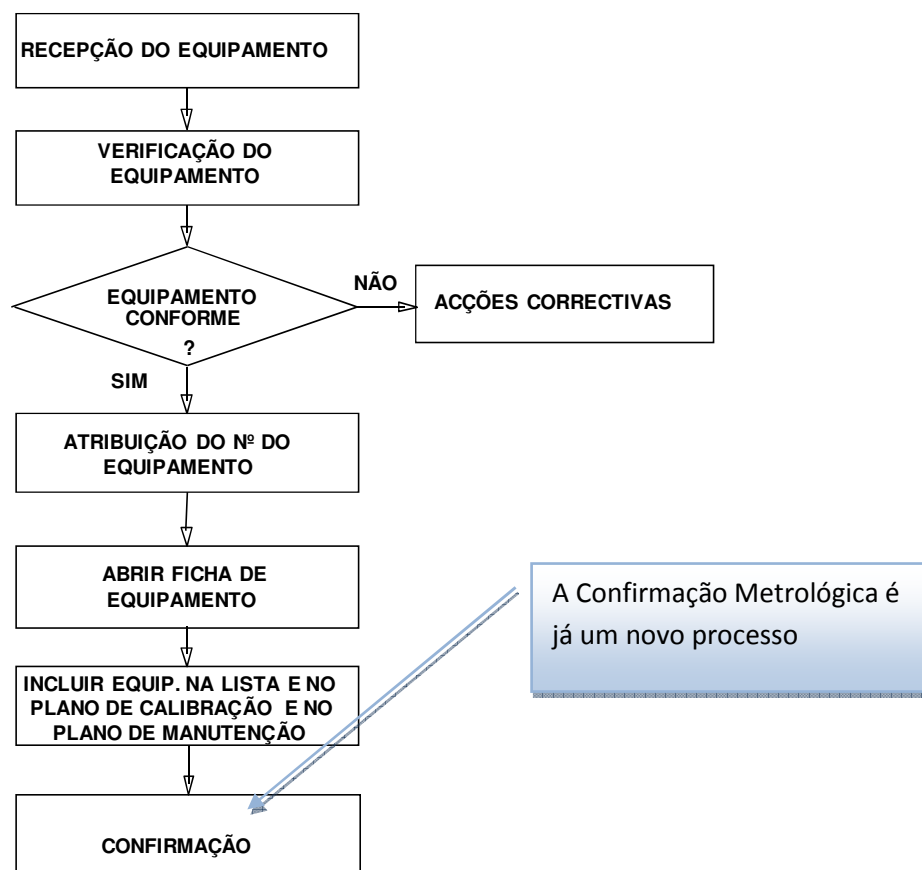


Figura 14 - Processo de recepção e identificação do equipamento

A entrada deste processo corresponde à saída do processo de selecção e aquisição do equipamento de medição e serviços relacionados.

A saída corresponde à entrada de um novo processo – a Confirmação Metrológica. Notar que para o processo de confirmação metrológica há outra entrada para além desta do processo de recepção e identificação do equipamento.

7.3 – Processo de “Confirmação Metrológica”

O processo, que foi tratado neste texto nos pontos 4.4 e 6.10, pode ser esquematizado no fluxograma da figura 15.

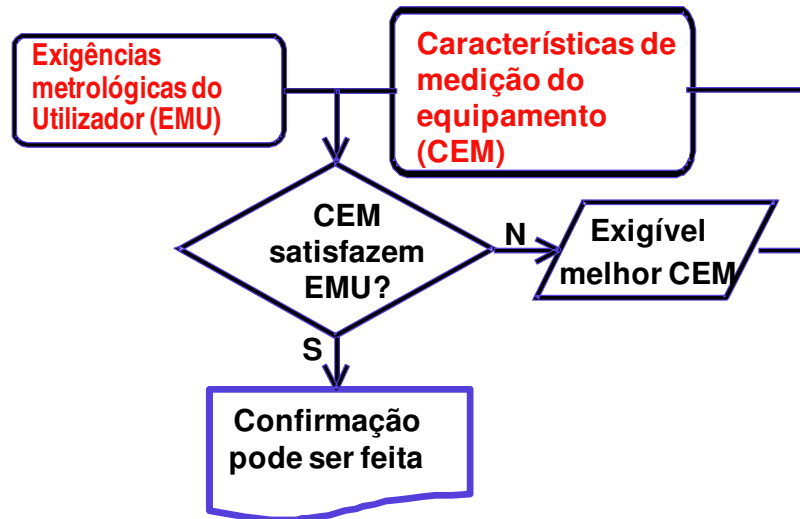


Figura 15 – Processo de Confirmação Metrológica (para mais detalhe ver figura (fluxograma completo da confirmação))

Uma das entradas “Características de medição do equipamento (CEM)” corresponde às características que são fornecidas na saída do processo de recepção e identificação dos equipamentos, onde se considera encerrado tal processo com a calibração realizada.

A outra entrada é o conjunto de especificações do produto (exigências metrológicas do utilizador).

A envolvente da confirmação metrológica corresponde a outras acções (figura 16), aqui não detalhadas, mas elas também podendo ser tratadas como novos processos.

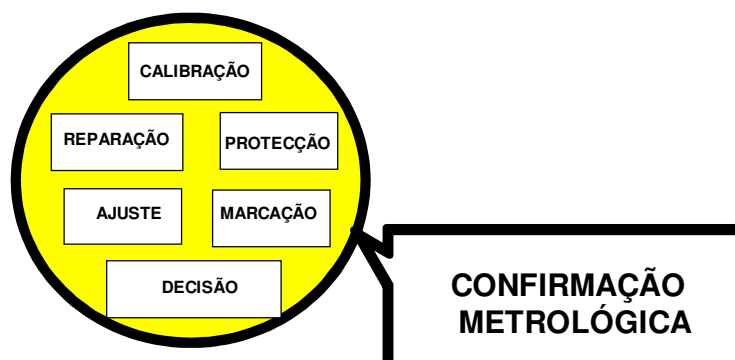


Figura 16 – A confirmação metrológica e toda a sua envolvente

7.4 – Processo “Definição do intervalo entre calibrações”

Clarifica-se aqui que se optou por denominar este processo como “Definição do intervalo entre calibrações” pela seguinte razão:

- Geralmente a confirmação metrológica é feita alguns dias depois de ter sido realizada a calibração, chegando a ser feita com atraso de alguns meses! Como a generalidade dos equipamentos tem tendência para a “deriva” mesmo que não seja utilizado, é considerado como boa prática que o estabelecimento de prazos seja feito com referência à calibração anterior

7.4.1 – Princípios para definição do intervalo inicial:

- 1 – recomendações do fabricante;
- 2 – experiência anterior com equipamento equivalente;
- 3 – com base nas Recomendações
 - Recomendação 4 do CNQ;
 - Recomendação 10 da OIML
- 4 – quando existir legislação específica aplicável, esta deve ser respeitada.

O intervalo inicial deve ser revisto em função da evolução do comportamento do equipamento.

7.4.2 – Princípios para a revisão de intervalo:

- 1 – o intervalo máximo entre calibrações é de 60 meses (5 anos) (Bom senso do LABORATÓRIO);
- 2 – quando o equipamento for encontrado fora das especificações o intervalo deve ser reanalisado;
- 3 – o resultado de um estudo não pode permitir alargar o intervalo mais que o dobro do intervalo anterior (Bom senso do LABORATÓRIO);
- 4 – sendo muito importante o histórico do equipamento, no entanto consideram-se como relevantes as duas últimas calibrações (análise da deriva);
- 5 - quando a calibração incidir sobre múltiplos pontos, o estudo deverá ser feito para o ponto onde ocorreu a maior deriva;
- 6 - quando existir legislação específica aplicável esta deve ser respeitada;
- 7 – eventualmente podem ser utilizados outros métodos (referidos na OIML 10).

7.4.3 – Regra geral para revisão do intervalo

- Em cada equipamento deve ser analisado qual ou quais os parâmetros determinantes;
- Análise da deriva;
 - Análise da deriva das duas últimas calibrações
 - a) É feita uma comparação entre os resultados obtidos na última calibração e os obtidos na penúltima;

- b) Considera-se como informação relevante a deriva entre as duas últimas acções de calibração;
- c) No final do próximo intervalo o erro de calibração não deve ultrapassar o erro máximo admissível.
- Os intervalos entre calibrações podem ser aumentados ou diminuídos.
- Devem-se registar as alterações (no impresso apropriado).

No LABORATÓRIO adopta-se a expressão (6) (ver 6.11.4):

$$P(M) \leq 12 \times \frac{CA \times FS - U}{DA}$$

Nota 1: Todos os valores em módulo;

Nota 2: Para periodicidade anual, retirar a constante “12”.

Exemplo aplicado a um manómetro:

$$P(M) \leq 12 \times (CA \times FS - U) / DA$$

Critério de Aceitação (CA) = ± 2 hPa

Factor de Segurança (FS) = 0,75 (equivalente a 75%)

Deriva (DA) = 0,5 hPa

Incerteza de Calibração (U) = $\pm 0,1$ hPa

Arredondando por defeito (para baixo) $\Rightarrow P(M) = 33$ meses

Este processo, detalhadamente tratado no ponto 6.11 deste texto, pode ser esquematizado como se vê na figura 17.

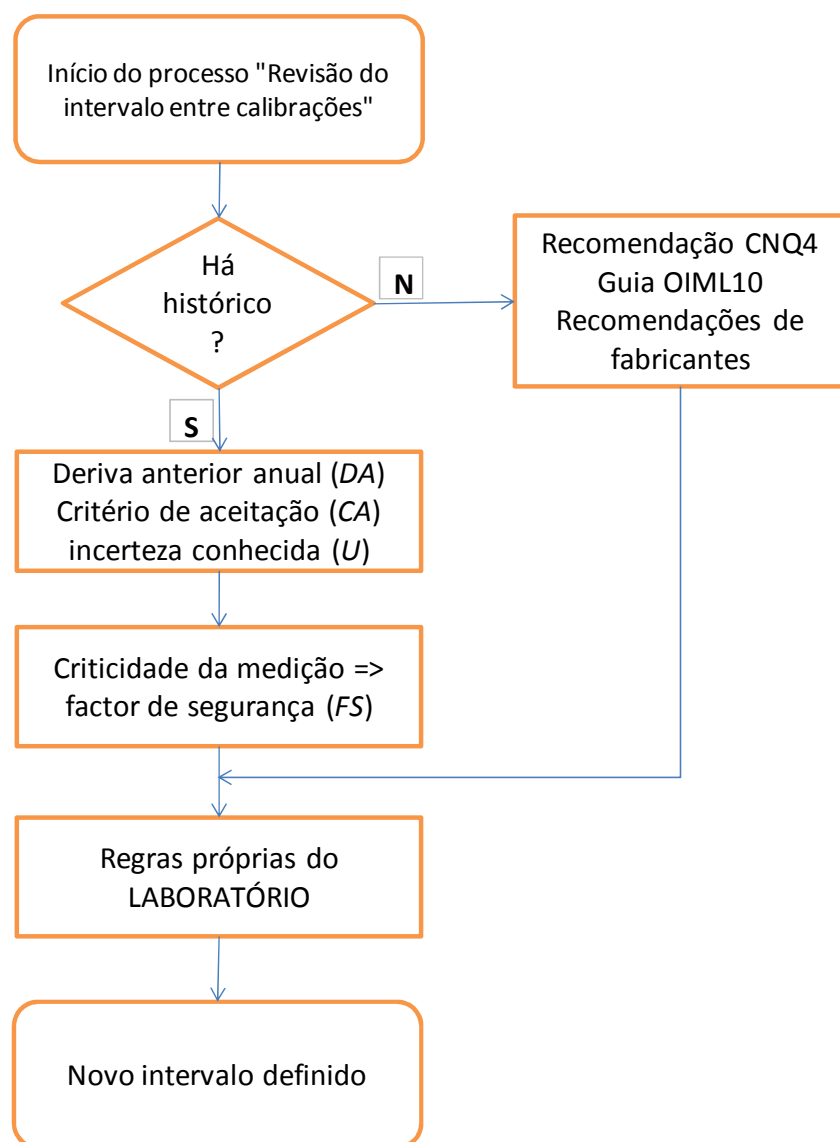


Figura 17 - Processo "Revisão do intervalo entre calibrações"

7.5 – Processo “Recuperação de EM não conforme”

Já se falou neste texto acerca da detecção de não conformidade num EM e a necessária retirada serviço (ver ponto 13).

Na ISO 10012, é detalhado este processo.

8.3.3 Equipamento de medição não conforme

Qualquer equipamento de medição confirmado acerca do qual se suspeite ou se saiba que:

- a) tenha sido danificado;
- b) tenha sofrido uma sobrecarga;
- c) tenha um funcionamento anormal que possa invalidar o seu uso previsto;
- d) produza resultados de medição incorrectos;
- e) tenha ultrapassado o respectivo intervalo de confirmação metrológica estabelecido;
- f) tenha sido mal manipulado;
- g) tenha um selo ou protecção contra inviolabilidade danificado ou partido;
- h) tenha sido exposto a grandezas de influência que possam afectar negativamente o seu uso previsto (p. ex. campos electromagnéticos, poeiras);

deve ser retirado de serviço mediante segregação, ou identificado por meio de etiquetagem ou marcação bem visível. A não conformidade deve ser verificada e elaborado um relatório de não conformidade. Tal equipamento não deve regressar ao serviço até que as causas da sua não conformidade tenham sido eliminadas e o equipamento novamente confirmado.

O equipamento de medição não conforme que não retomou as suas características metrológicas previstas deve ser claramente marcado ou identificado de outra forma. A confirmação metrológica de tal equipamento para outros usos deve garantir que a alteração do seu estado é claramente visível e inclui a identificação de quaisquer limitações de utilização.

ISO 10012 [7]

Se o resultado de uma verificação metrológica antes de qualquer ajuste ou reparação indicar que o equipamento de medição não satisfazia os requisitos metrológicos de tal forma que pudesse ter comprometido a correcção do resultado das medições, o utilizador do equipamento deve determinar as potenciais consequências e desenvolver as acções que sejam necessárias. Isso pode incluir a reavaliação de produtos que tenham sido produzidos com base em medições efectuadas com o equipamento de medição não conforme.

Se não for praticável ajustar, reparar ou submeter a revisão completa do equipamento que não esteja adequado para o seu uso previsto, uma opção é desclassificá-lo e/ou modificar o seu uso previsto. A reclassificação deverá ser aplicada com grande cuidado, pois pode originar confusão entre as utilizações permitidas a equipamentos aparentemente idênticos. Isto aplica-se também à confirmação metrológica limitada a apenas algumas das gamas ou funções de equipamento com múltiplas gamas.

ISO 10012, “Orientação” em 8.3.3 [7]

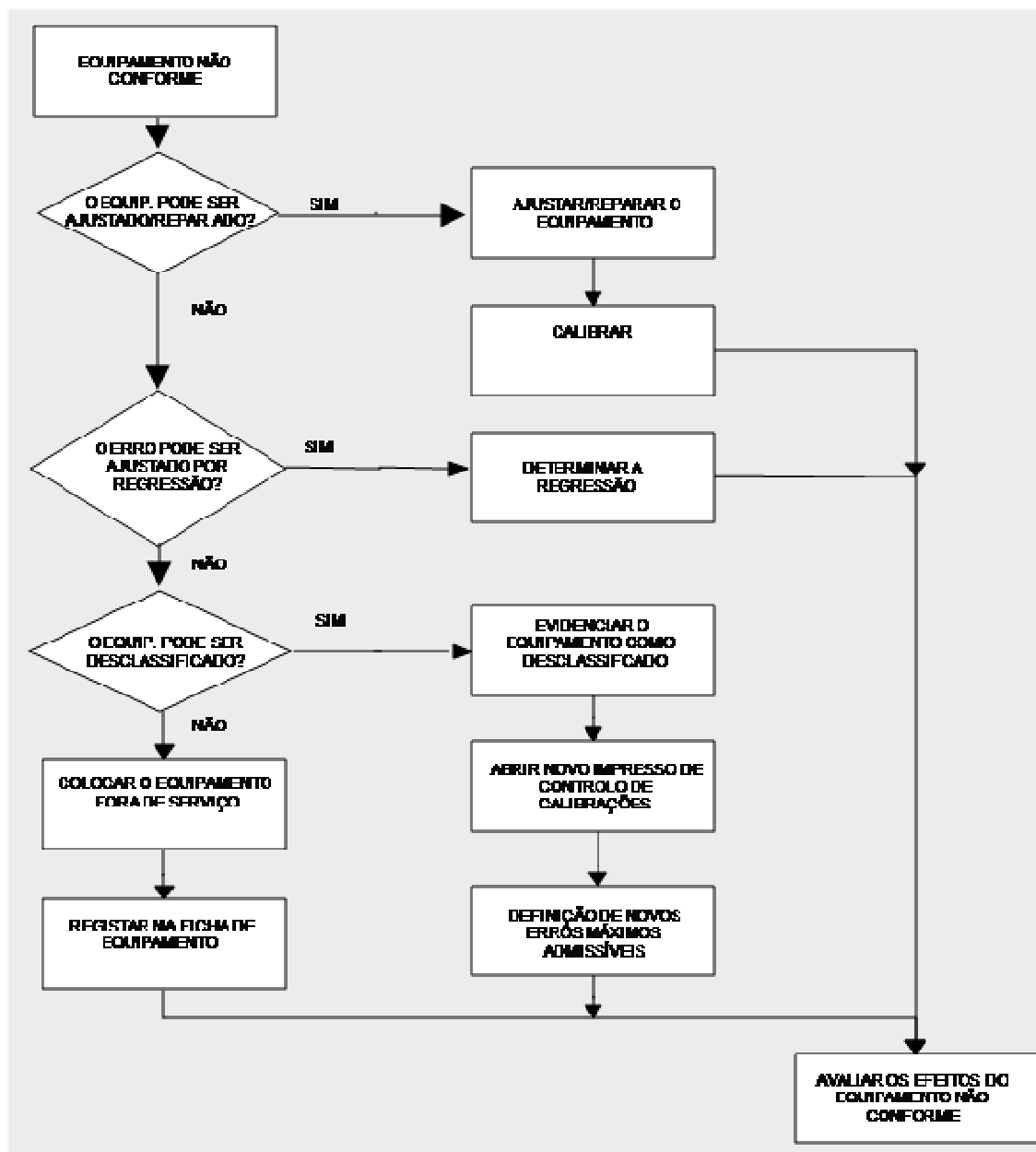


Figura 18 - Processo “Recuperação de equipamento não conforme”

7.6 – Processo “Calibração (externa e interna)”

Este processo aplica-se a todo o equipamento que o LABORATÓRIO utiliza como padrão para calibrar equipamento (do próprio LABORATÓRIO ou da empresa-mãe), ou outro equipamento que tenha por função comprovar que os requisitos do produto estão conforme as especificações.

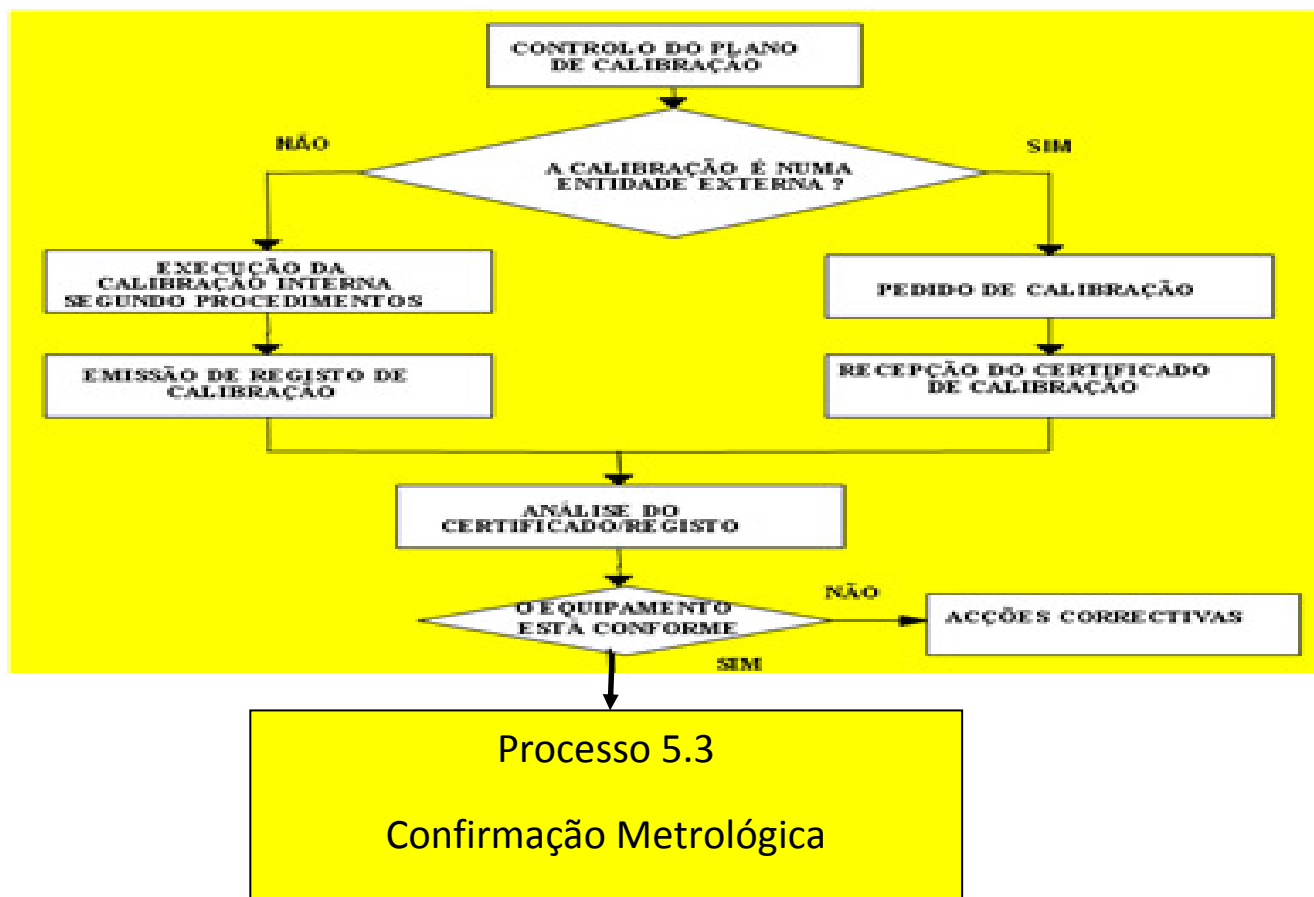


Figura 18 – Processo “Calibração (externa e interna)”

7.7 – Processo “Estimativa de incertezas”

A relação entre erro e incerteza pode ser analisada na figura 19. Partindo do princípio que o erro de medição tem sempre alguma componente que é atribuível à incerteza, pode constatar-se que a incerteza resulta de parte dos seguintes tipos de erros;

- Erro aleatório (associado a uma medição isolada);
- Erro sistemático (componente desconhecida);
- Erro sistemático conhecido (componente residual).

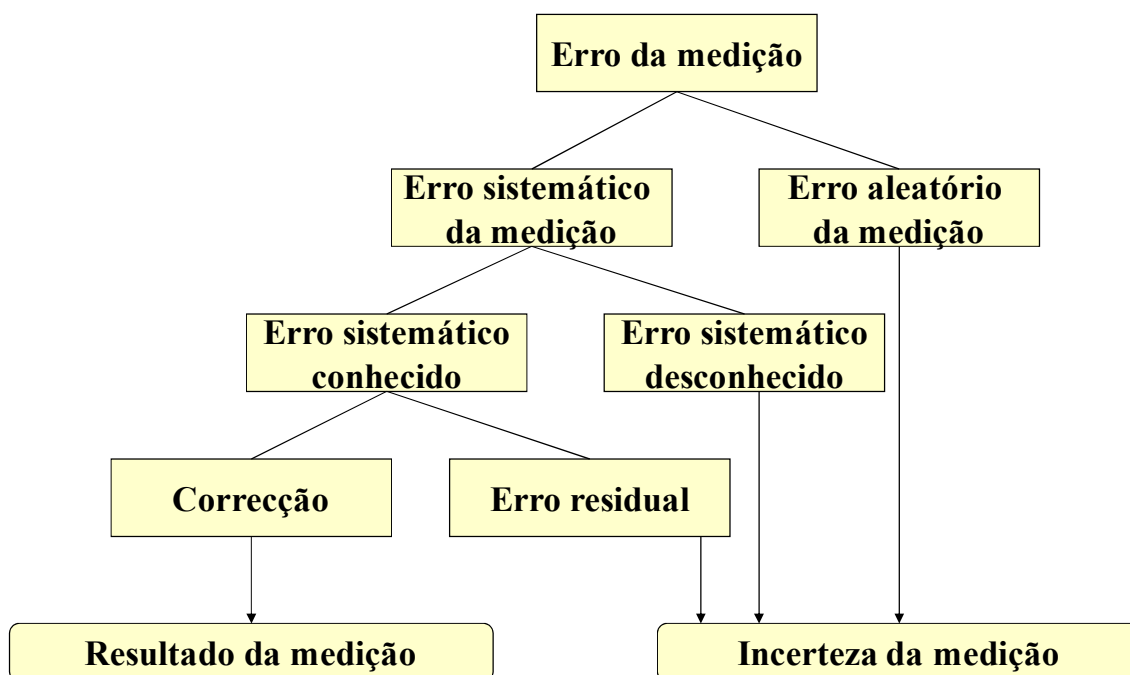


Figura 19 - Relação entre erro e incerteza [21]

O procedimento sequencial pode ser descrito como segue [16]:

1 - Expressar em termos matemáticos a mensuranda Y em função das grandezas de entrada X_i .

Quando for efectuada uma comparação directa com um padrão de referência, a equação pode ser

$$Y = X_1 + X_2 \quad \text{ou} \quad \text{Erro} = X_{\text{IM}} - X_{\text{PADRÃO}} + \delta X_{\text{Grand.Influe.}}$$

2 - Identificar as correcções possíveis de efectuar e que sejam significativas.

3 - Fazer uma listagem das fontes de incerteza.

- 4 - Calcular a incerteza-padrão $u(x_i)$ para as grandezas medidas em condições de repetibilidade.
- 5 - Para valores isolados, adoptar as incertezas-padrão quando são dadas ou podem ser calculadas. Tomar atenção à forma de representação da incerteza utilizada. Se não existirem dados disponíveis, estimar o valor $u(x_i)$ com base na experiência ou bases científicas.
- 6 - Para as grandezas de influência cuja distribuição de probabilidade é conhecida ou pode ser assumida, utilizar o correspondente valor esperado como a estimativa x_i e a incerteza-padrão $u(x_i)$ como sendo a raiz quadrada positiva da variância dessa distribuição. Se só se puderem estimar os limites superior e inferior, calcular a incerteza-padrão $u(x_i)$ considerando uma distribuição rectangular.
- 7 - Calcular $u(y)$ da mensuranda fazendo $u(x_i) \times c_i$ (para cada X_i); fazer o somatório de todos o $u^2_i(y)$ e extrair a respectiva raiz quadrada. Se as grandezas forem correlacionadas, deverá fazer-se o estudo da co-variância²⁰.
- 8 - Calcular a incerteza-padrão expandida (multiplicando por k)
- 9 - Exprimir o resultado da medição na forma $(y \pm U)$.

Este processo é aplicável às calibrações internas, que no caso em exemplo se refere à calibração de paquímetros de 150 mm e de micrómetros de exteriores 0-25 mm.

Na verdade este processo é um sub-processo do outro processo 7.6 que é a calibração, na sua vertente interna.

A entrada para este processo é, assim, o resultado das medições realizadas no processo de calibração interna.

Considera-se que o primeiro passo para o desenvolvimento deste processo é o conhecimento do equipamento em causa.

Como segundo passo, uma avaliação de todas as possíveis causas de erro, quer sejam causas intrínsecas ao equipamento, quer sejam associadas aos padrões, ou ao método, ou ainda causas ambientais. A listagem dessas possíveis causas de erro é importante caminho para detecção de todas as fontes de incerteza na calibração em causa.

As fontes de incerteza de medição possíveis são:

- a) definição incompleta da mensuranda;
- b) realização imperfeita da definição da mensuranda;
- c) amostragem não representativa – a amostra medida pode não representar a mensuranda definida;
- d) influência das condições ambientais mal conhecida ou deficientemente medida;
- e) erros de leitura dos instrumentos analógicos;

²⁰ Uma aplicação de estudo de co-variância em cálculo de incerteza em cálculo de módulo de Young é apresentada em [22].

- f) resolução finita dos instrumentos ou limites de mobilidade;
- g) valores inexactos dos padrões e dos materiais de referência;
- h) valores inexactos das constantes ou outros parâmetros obtidos da bibliografia e utilizados no algoritmo matemático;
- i) aproximações ou hipóteses contidas no método e procedimento de medição;
- j) variações nas observações repetidas da mensuranda, aparentemente, nas mesmas condições.

(Ver mais detalhe no Anexo 4 e em [14].

No final do estudo de incertezas que se realiza em cada calibração interna, deverá ser feita uma análise comparativa das componentes de incerteza, o que pode permitir detectar uma fonte de incerteza de tal maneira anómala que pode corresponder a um erro grosseiro. A figura 20 apresenta um exemplo de estudo das diversas componentes de incerteza na calibração de um micrómetro 0-25 mm, onde se pode constatar um equilíbrio aceitável entre as diversas componentes. Na figura 21 já existe uma componente dominante (reprodutibilidade dos operadores).

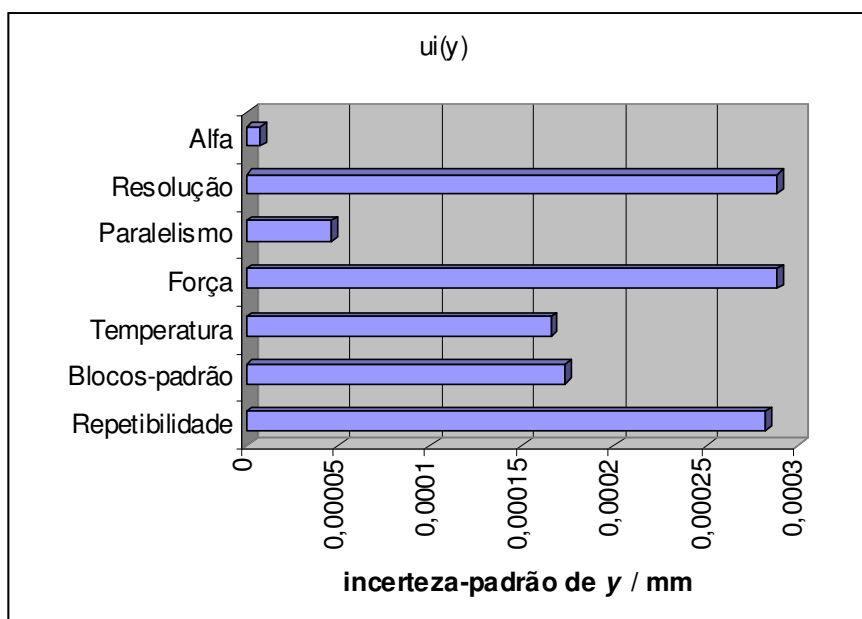


Figura 20 – Análise comparativa das componentes de incerteza na calibração de micrómetro 0-25 mm, onde as componentes que mais contribuem para a incerteza têm peso equivalente.

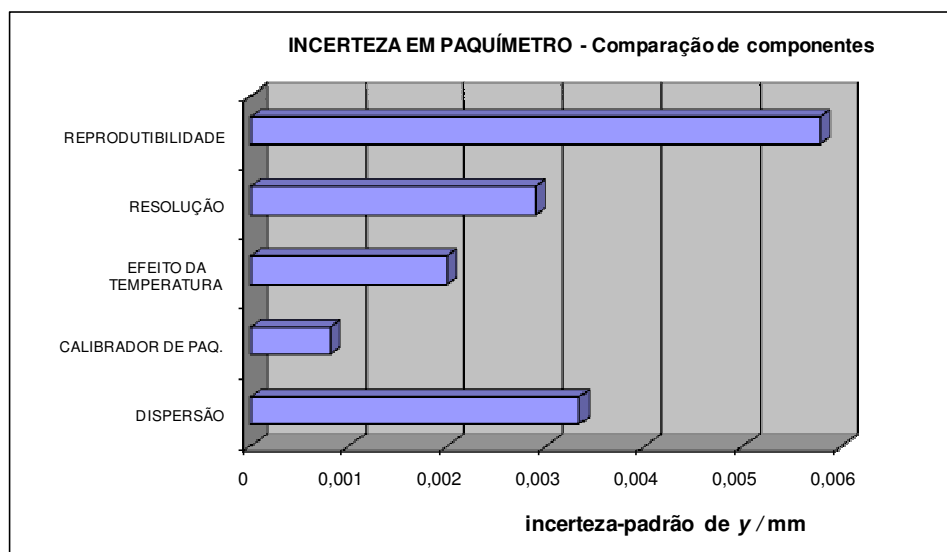


Figura 21 – Análise comparativa das componentes de incerteza na calibração de paquímetro 150 mm, onde uma das componentes se destaca de todas as outras.

A saída deste processo são os valores de incerteza para fazer constar nos certificados de calibração ou para constar dos estudos realizados nos departamentos requisitantes (medições e ensaios).

- Nos anexos 9 e 10 são apresentados dois exemplos de incerteza na calibração interna de paquímetros e micrómetros;
- No anexo 11 é apresentado um estudo de incerteza na calibração de um manómetro;
- No anexo 12 é apresentado um estudo de estimativa de incerteza na determinação da tensão de rotura num ensaio de tracção.

De notar que este processo tem por suporte a metodologia descrita em [15], também conhecido como “Método GUM”. Existe uma alternativa para cálculo das incertezas, recorrendo ao Método Monte Carlo, aqui não considerada, mas que foi tratada pelo autor no âmbito de actividades do 3º Ciclo de Engenharia Mecânica, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, referência [22].

8 – Conclusões

8.1 - O Sistema de Gestão da Medição está intimamente ligado ao Sistema de Gestão da Qualidade. A Qualidade²¹ é, por vezes entendida como um encargo que é imposto por clientes ou regulamentação, mas que não traz valor acrescentado. Tal preconceito é incorrecto porque os custos da Qualidade devem ter como retorno a diminuição de defeitos (trabalho não conforme) e, por consequência, menor número de reclamações.

Um bom controlo do Sistema de Gestão da Medição é determinante, não só para que a organização faça boas medições, mas também para que as faça de modo eficiente, ou seja fazê-las bem, mas com custo mínimo.

8.2 – Um laboratório fabril para medições tem a seu cargo acções que permitem maior rapidez de resposta (calibrações) e melhor conhecimento de toda a envolvente da medição que é feita na fábrica.

8.3 – Uma das funções do laboratório fabril, que se pode considerar como sendo uma das mais relevantes, é a calibração interna. Nos exemplos dados neste trabalho consideraram-se poucos equipamentos, mas na realidade a organização deverá realizar um estudo custo-benefício para fazer internamente o maior número possível de calibrações.

8.4 – Os estudos custo-benefício a efectuar devem considerar:

- Encargos com calibrações quando realizadas externamente
 - Custo da própria calibração
 - Encargos com transporte
 - Custos administrativos dos contactos com os fornecedores de calibrações
 - Tempo de paragem do equipamento quando das calibrações externas
- Encargos para manter o processo de calibrações internas:
 - Pessoal afecto às calibrações internas
 - Programa anual de formação para manter as competências
 - Custo dos padrões de referência para as calibrações internas
 - Custo das calibrações periódicas dos padrões de referência e respectiva manutenção
 - Tempo de paragem do equipamento quando das calibrações internas

Da análise comparativa do peso das calibrações externas e do peso das calibrações internas, deverá surgir uma decisão positiva para que se internalizem calibrações, que resulta de a comparação ser favorável a esta internalização.

²¹ A Qualidade está definida pelo Decreto-Lei 142/2007 como segue: «Qualidade» é o conjunto de atributos e características de uma entidade ou produto que determinam a sua aptidão para satisfazer necessidades e expectativas da sociedade

Na listagem de encargos associados a calibrações, há dois que se devem comparar e aos quais se deve atribuir um valor: trata-se da paragem do equipamento durante a calibração. Esta paragem provoca sempre transtorno, que pode ser à produção, com paragem de processos por falta temporária de equipamento de medição, ou a custos adicionais na aquisição e manutenção de equipamento redundante.

8.5 – As calibrações internas devem ser realizadas cumprindo tecnicamente todos os requisitos da ISO 17025, complementados pela ISO 10012, sendo no entanto, neste caso, permitido o aligeirar do formalismo dos relatórios e certificados (*No caso de ensaios ou calibrações realizados para clientes internos ... os resultados poderão ser apresentados de modo simplificado (5.10.1 de [9])*).

8.6 – Uma das funções de um laboratório fabril pode ser apoiar o responsável pela Qualidade quando este promover estudos de R&R (repetibilidade e reprodutibilidade) tendentes a avaliar a capacidade do processo produtivo. Este apoio pode consistir em realizar medições em condições ambientais controladas, coisa que dificilmente acontece em “chão-de-fábrica”.

8.7 – O laboratório fabril pode utilizar as competências dos seus colaboradores para fazer acções de formação para o pessoal da fábrica envolvido em medições que tenham por função confirmar requisitos metrológicos do produto.

8.8 – O laboratório fabril pode (e deve) fazer a gestão de todo o equipamento de medição fabril.

8.9 – Especial atenção deve ser dada à verificação de equipamento de medição entre calibrações. Esta actividade resulta sempre em economia no controlo dos equipamentos abrangidos, pois permite alargar intervalo entre calibrações com fundamentos bastante seguros.

8.10 – Como conclusão final – e lembrando as “Regras de Bom Senso” – uma boa gestão da medição necessita sempre que se conheça cada equipamento como um pai conhece cada um dos seus filhos.

Referências

- [1] Carlos Sousa, **Estudo de fractografia em aços austeníticos inoxidáveis – Aplicação da Lei de Paris à determinação “a posteriori” de tensões em componentes fracturados**. Relatório de Seminário de Materiais do Curso de Engenharia Mecânica da FEUP, 1985.
- [2] Viriato Antunes e Carlos Sousa, **Estudos de fractografia em aços austeníticos inoxidáveis – Determinação “a posteriori” de solicitações em componentes fracturados**. Relatório do trabalho realizado no âmbito do contrato de investigação – Reitoria U. P. 57/84, 1986
- [3] Carlos Sousa, **Estudo da Tenacidade de Dois Aços de Construção Dúcteis**
Tese para Provas de Acesso à Categoria de Assistente de Investigação, Maio de 1989 (disponível na Biblioteca da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto).
- [4] Paulo Tavares de Castro, Carlos Sousa, Fernando Oliveira, BCR - Community Bureau of Reference, **Brussels, 'Intercomparison of Fracture Toughness Measurements of Ductile Materials', round robin programme, 1987 - 1990**.
Project leaders: TWI (3120/1/0/111/86/11-BCR-UK, 3345/1/0/111/89/11-BCR-UK), GKSS (3344/1/0/111/89/11-BCR-D), Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik (3343/1/0/111/89/11-BCR-D), com Universidade do Porto
- [5] K. H. Schwalbe et al, **Validation of the Fracture Mechanics Test Method EGP P1-87D – Analysis of an Experimental Round Robin**. Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct. Vol. 16, nº. 11. Pp. 1231-1284, 1993
- [6] Instituto Português da Qualidade, **Vocabulário Internacional de Metrologia**, de 2008
- [7] – Instituto Português da Qualidade, **NP EN ISO 10012:2005 - Sistemas de gestão da medição, Requisitos para processos de medição e equipamento de medição**.
- [8] – Decreto-Lei nº 128/2010, de 3 de Dezembro (**Sistema de Unidades de Medida Legais para todo o território português**)
- [9] Instituto Português da Qualidade, **NP EN ISO/IEC 17025:2005 - Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e Calibração**, 2005
- [10] Instituto Português da Qualidade, **NP EN ISO 9001:2008 – Sistemas de Gestão da Qualidade – Requisitos**, 2008.
- [11] Instituto Português da Qualidade, **NP EN ISO 9000:2005 – Sistemas de Gestão da Qualidade – Fundamentos e Vocabulário**, 2005
- [12] Conselho Nacional da Qualidade, **Recomendação CNQ 4/99, Exemplos de períodos iniciais de calibração e instrumentos de medição**.
- [13] Conselho Nacional da Qualidade, **Recomendação CNQ 5/2001, Condições Ambientais em Laboratórios de Calibração**.
- [14] – Paulo Cabral, **Erros e Incertezas nas medições**. IEP e ISEP, 2004
- [15] JCGM 100:2008 - GUM 1995 (with minor corrections) **Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement** - First edition September 2008

- [16] Documento EA-4/02, **Expression of the uncertainty of measurement in calibration**, Dezembro de 1999
- [17] Instituto Português da Qualidade, OGC001 - **Guia Para a Aplicação da NP EN ISO/IEC 17025, 2010**
- [18] GUIDANCE ILAC-G24 and OIML D 10, **Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instruments**, 2007.
- [19] A. Silva Ribeiro, J. Alves e Sousa, C. Sousa, **Implicações Económicas da Gestão Metrológica da Instrumentação**. CONFMET2010, FCUL, 4 e 5 de Novembro de 2010
- [20] – Almeida, Guilherme de – **Sistema Internacional de Unidades (SI) – Grandezas e Unidades Físicas, terminologia, símbolos e recomendações** – Plátano, Edições Técnicas – 3ª Edição, Abril de 2002
- [21] – EUROLAB, Technical Report No. 1/2006, **Guide to the Evaluation of Measurement Uncertainty for Quantitative Test Results**, August 2006
- [22] Carlos Sousa, Análise comparativa na estimativa da incerteza – Lei da propagação de incertezas versus Método Monte Carlo (Cálculo do módulo de Young pelo ensaio de tracção). Relatório no âmbito do 3º Ciclo de Engenharia Mecânica, FEUP, 2011

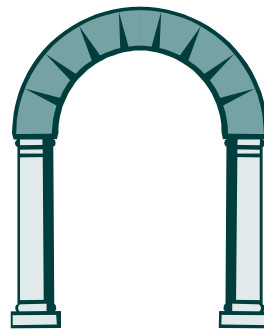
ANEXOS

- 1 – Metrologia – Notas Históricas
- 2 – Sistema Português da Qualidade (SPQ)
- 3 – Categorias da Metrologia
- 4 – Introdução às incertezas
- 5 – Quadro de Rastreabilidade
- 6 – Plano de Calibração de equipamento de medição
- 7 – Procedimento para calibração de paquímetros
- 8 – Procedimento para calibração de micrómetros
- 9 – Cálculo de incerteza – micrómetro
- 10 – Cálculo de incerteza – paquímetro
- 10A – Cálculo de incerteza – paquímetro (dinâmico)
- 11 – Cálculo de incerteza na calibração de manómetro
- 12 – Cálculo de incerteza da tensão de rotura
- 13 – Sistema Internacional de Unidades - DL 128/2010

Cadernos Técnicos Carlos Sousa

METROLOGIA

NOTAS HISTÓRICAS



Índice de “Notas Históricas”

	Pág
1- O Nascimento da Metrologia	3
2 - Evolução da Metrologia	4
3 - D. Sebastião não pensou só em “mouros”...	7
4 – Algumas curiosidades das unidades	
5 – As Cinco Definições do Metro	9
1ª Definição do metro (1793)	9
2ª Definição do metro (1799)	9
3ª Definição do metro (1889)	10
4ª Definição do metro (1960)	11
5ª Definição do metro (1983)	12
6 – Rastreabilidade	12
6.1 – Calibração	14
6.2 - Cadeia de rastreabilidade	16
6.3 – Padrões	16
7 – Organização Internacional	18
7.1 – A Convenção do Metro	18
7.2 – Laboratórios Nacionais de Metrologia	20
7.3 – Laboratórios Primários	21
7.4 – Laboratórios Acreditados	21
7.5 – Organizações Europeias	22
7.5.1 – EURAMET	22
7.5.2 – COOMET	25
7.5.3 – OIML	26
7.5.4 – WELMEC	26
7.5.5 – EUROLAB	26
7.5.6 – EURACHEM	26
7.5.7 – EA – Cooperação Europeia para a Acreditação	28
7.5.8 – ILAC	28
APÊNDICE	29

NOTAS HISTÓRICAS

1 - O Nascimento da Metrologia

O Homem e a Metrologia dependem mutuamente desde tempos imemoriais. Mas uma certa forma de metrologia pode considerar-se ser mais antiga que o próprio homem!

Não nos é difícil imaginar um dos primeiros primatas a medir de alto a baixo o seu rival antes de iniciar uma luta. Todos os animais procuram mostrar-se maiores em situação de conflito, quer eriçando os pêlos ou as penas, quer erguendo-se, elevando assim o seu porte. Tudo isto nada mais é do que evidenciar uma dimensão e o outro contendor está de facto de medir (a olho, é certo) todo o tamanho do rival. Esta medição, como todas as medições, está sujeita a erros e a incertezas; daí que a aparência pode camuflar a verdadeira dimensão do animal *exibicionista*.

Mas medir de facto, consciente e intencionalmente, terá sido já uma actividade humanóide, recorrendo a instrumentos também rudimentares - uma vara, uma pedra ou uma qualquer parte do corpo - mas sempre procurando comparar com uma dimensão que serve de referência.

Mas para medir - comparando - torna-se necessário definir unidades, criar padrões, comparar instrumentos de medição com os padrões...

Ora a moderna Metrologia tem como principal objectivo garantir que se medem valores de determinadas grandezas que são reprodutíveis e que são semelhantes internacionalmente.

2 - Evolução da Metrologia

Ao longo dos tempos, a definição de Metrologia não tem sido questão totalmente pacífica. Entendiam alguns que a Metrologia constituía um “domínio dos conhecimentos relativos à medição”. Outros, apoucando a Metrologia, sugeriam que era um conjunto de técnicas que «assessoravam» a instrumentação!

Mas há muito que a Metrologia ultrapassou a fase de ser considerada como um domínio do conhecimento dentro da instrumentação ou conjunto de conhecimentos abrangendo várias ciências. Agora é reconhecida como uma verdadeira ciência, embora recorrendo a muitas outras - como é normal em todos os outros domínios e ciências.

Metrologia (metrology / métrologie)

Ciência da medição e suas aplicações

NOTA: A metrologia compreende todos os aspectos teóricos e práticos da medição, qualquer que seja a incerteza de medição e o domínio de aplicação.

Vocabulário Internacional de Metrologia, 3ª Edição, IPQ, Novembro 2008

A Metrologia contém o domínio de tudo o que se relaciona com a medição, todos os aspectos teóricos e práticos, quer se fale de exactidão da ordem dos fentossegundos – cujos instrumentos de medição são calibrados em laboratórios primários com recurso às mais altas tecnologias – ou da ordem das horas, quer seja

ou com utilização do metro de madeira do retalhista que é submetido a uma operação de verificação metrológica legal pelos serviços municipais, ou de blocos-padrão que podem ter incertezas de alguns nanómetros.

A Metrologia é uma importante ferramenta que começou a ter regras mais ou menos bem definidas já nos primeiros actos mercantilistas – a um comprimento ou a uma massa (termo muito confundido com peso) corresponderia um preço. Daí que os primeiros padrões que se conhecem eram tipicamente de comprimento, “peso” e volume. Mesmo a organização internacional de adopção de padrões ainda é conhecida como Conferência Geral de Pesos e Medidas.

Ainda hoje é possível verificar à entrada de algumas fortificações (que protegiam cidades) uma marca gravada na pedra que servia de padrão de comprimento para os negócios que decorressem naquela urbe.



Figura 1 – Padrão do Còvado da Igreja da Misericórdia do Sabugal. Séc. XIV (Museu do IPQ)

São muito antigos os vestígios de utilização de técnicas de medição e de manutenção de padrões de referência. Não era de qualquer modo possível fazer os grandes monumentos egípcios, maias ou azetecas sem métodos de medição cuidados e mesmo sem padrões de referência.

Refira-se, a propósito de construções faraónicas, que elas só puderam ser feitas porque as técnicas de medição eram já bastante evoluídas, quer medindo distâncias, quer medindo ângulos. Os arquitectos reais do antigo Egipto, há cerca de 5000 anos, tinham por função calibrar o padrão de unidade de comprimento, o cúbito¹ real, em cada lua cheia – era essa a periodicidade de calibração. Se ocorresse algum esquecimento ou a calibração fosse mal feita, os responsáveis eram punidos com a pena de morte! O padrão original – uma medida materializada – estava gravado numa placa de granito negro e eram feitas cópias de granito ou madeira, distribuídas pelos operários que procediam às medições. A gravidade atribuída ao não cumprimento das regras metrológicas de então, prendiam-se com o facto de que, se as medições ficassem mal feitas, os monumentos ficariam distorcidos e poderia haver influência na vida eterna do Faraó ou outro seu familiar.

Mas a história mais recente da Metrologia mostra que a preocupação de uniformizar as unidades de medida e definir padrões que fossem de utilização universal continuou a preocupar os governantes. Começaram por ser utilizados padrões relacionados com o corpo humano: pés, braças, polegadas, Mas cedo se verificou que este método era muito falível, os palmos ou os pés eram, como hoje ainda são, de muito diferentes dimensões. Foi então mais ou menos regra que os padrões seriam baseados em dimensões dos chefes, quer se tratasse do chefe da tribo, do rei ou do faraó. Mas também há reis grandes... e reis pequeninos!



Continuavam assim a existir grandes diferenças de unidades, mesmo quando baseadas no mesmo tipo de padrão. Resultaram muitos conflitos, alguns bastante acesos, pois que diferenças de unidades correspondiam a custos sofridos por uma das partes quando se tratava de negociar produtos.

¹ O cúbito real era definido como o comprimento do antebraço do Faraó, do cotovelo à ponta do dedo médio, mais a largura da sua mão (equivalente a 7 palmos)

França é o país que serve de referência para mostrar os esforços para unificação de unidades. São conhecidas tentativas no século XIV na definição e aplicação de unidades universais, mas o êxito obtido foi escasso. No século XVII deu-se um avanço quando se adoptou com certo êxito a “Toise” (Toesa em português) com um valor aproximado de 1,95 m e com submúltiplos (pés, polegadas, linhas e pontos). A materialização da Toise estava num muro de um castelo, perto de Paris, de modo a que se pudesse comparar os padrões de trabalho distribuídos pelos comerciantes.

3 - D. Sebastião não pensou só em mouros...

Em Portugal temos um marco notável na definição de unidades - a Lei de Almeirim. Esta lei, de “*igualamento das medidas dos sólidos e dos líquidos*” foi publicada por D. Sebastião em 26 de Janeiro de 1575, pois que tinha sido informado que

... em uns lugares as medidas são grandes e logo em outros, junto deles, são pequenas e em outros mais pequenas ou maiores...

Esta lei era notável se considerarmos os conceitos que já então eram definidos, quer em termos de rastreabilidade, quer de calibração e intercomparação. Determinou que fossem criados padrões que ficavam depositados em lugares de confiança e padrões de 2ª classe que eram periodicamente comparados por funcionários (Almotacé-Mor). Os padrões de 3ª classe eram comparados com os de 2ª classe pelos Corregedores e Ouvidores do Reino!

Mas a grande revolução deu-se precisamente com a Revolução Francesa: assiste-se ao nascimento do sistema métrico no século XVIII, sendo a definição do metro baseada numa grandeza geográfica.

Dada a importância das grandezas no domínio dimensional - a própria palavra metro tem raiz comum com a palavra metrologia - faremos uma abordagem mais pormenorizada da evolução do “metro”. O Metro tem tido uma evolução sempre acompanhada de progressos científicos e técnicos notáveis.

4 – Algumas curiosidades das unidades

Na página do IPQ

www.ipq.pt

em “Museu da Metrologia” há algumas informações marcantes das unidades de medida utilizadas em Portugal desde tempos antigos.

No final destas notas – sob a forma de “APÊNDICE” podem encontrar-se unidades que foram utilizadas, muitas já perdidas nas sombras da memória e algumas curiosas receitas culinárias com utilização daquelas unidades de medida antigas.

<http://www.ipq.pt/custompage.aspx?P=curiosidades.htm>

5 – As Cinco Definições do Metro

Faz-se aqui uma análise com algum detalhe da evolução da definição do metro, o que, de certa forma, espelha o que se tem passado com as outras unidades.

1ª Definição do metro (1793)

Décima milionésima parte do quarto do meridiano terrestre que passa por Paris.

Mas o desenvolvimento de técnicas de medição originou posteriores correcções o que levaria a que a definição do metro viesse a sofrer modificações ao longo do tempo.

2ª Definição do metro (1799)

Distância entre os topos de uma barra de platina a 0 °C.

A exactidão deste padrão era da ordem do 0,1 mm, o que era manifestamente inadequado para os desenvolvimentos que se vieram a verificar nas tecnologias e nas ciências, levando assim a novas definições.

3ª Definição do metro (1889)

Distância entre dois traços centrais marcados numa barra de platina iridiada, de secção em “X”, à temperatura de 0 °C



A 1ª Conferência Geral de Pesos e Medidas mandou fabricar trinta padrões, entre os quais foi escolhido o padrão de *referência*, passando a ser este o padrão por onde todos os outros eram calibrados. A exactidão destes padrões era de 0,1 μm .

Portugal contava-se entre os países aderentes, sendo, conjuntamente com o padrão de massa, atribuído o nº 10 às cópias dos padrões protótipos nacionais.

Gradualmente foi-se sentindo que esta definição era insuficiente, tendo-se chegado à conclusão ser necessário redefini-la em termos *naturais*, principalmente quando em 1937 se fez nova marcação de traços no padrão existente. De facto, trabalhos desenvolvidos, principalmente pela SGIP (Suíça) revelaram que a resolução das medições era já superior à espessura dos traços.

Tudo apontava já para uma definição baseada na natureza ondulatória da luz. Já em 1864 o físico francês Fizeau tinha escrito: “um raio de luz, com todas as suas

séries de ondulações muito ténues, mas perfeitamente regulares, pode ser considerado, de algum modo, como um micrómetro natural da maior perfeição e particularmente apropriado a determinar comprimentos extremamente pequenos”.

Em 1948 a 9ª Conferência Geral de Pesos e Medidas adoptou uma resolução na qual reconhecia que o metro pode ser definido em termos de comprimento de onda da radiação de um isótopo, embora não tivesse referido qual o elemento a utilizar.

Em 1954 foi publicado pela SGIP um estudo onde era preconizada a redefinição do metro com base no comprimento de onda emitida por uma radiação de mercúrio-198.

4ª Definição do metro (1960)

Comprimento igual a 1 650 763,73 comprimentos de onda, no vazio, da radiação correspondente à transição entre os níveis 2p e 5d do átomo de cripton-86

A definição tinha finalmente transitado para um método considerado praticamente perfeito, ou seja, com referência às características da radiação luminosa. Mas a rápida evolução que se fez sentir na radiação *laser* manteve acesa a chama de descontentamento dos físicos e metrologistas, que procuravam uma constante mais universal. Uma grandeza de muito boa exactidão era, e ainda é, a unidade de tempo aquela que se encontrava ligada a uma melhor incerteza - e a constante universal ligada ao tempo é a velocidade da luz no vazio. Daí vem a definição actual do metro.

5ª Definição do metro (1983)

O metro é o comprimento do trajecto percorrido pela luz no vazio durante um intervalo de tempo de $1/299\,792\,458$ do segundo.

Esta definição poderá vir a ser alterada, mas não se vislumbra qualquer tendência para que deixe de ser utilizada a radiação luminosa como base fundamental para padrão natural da grandeza distância.

6 – Rastreabilidade

Uma cadeia de rastreabilidade é um conjunto ininterrupto de comparações que asseguram que o resultado duma medição, ou o valor de um padrão, se relaciona com as referências de nível mais elevado, terminando no nível final do padrão primário. Na Europa, a rastreabilidade é assegurada ao nível mais elevado, através laboratórios europeus acreditados. Nos EUA, a rastreabilidade é assegurada ao nível mais elevado directamente ao NIST (National Institute of Standards and Technology - Estados Unidos da América)

Convém, aqui, alertar para as duas definições de rastreabilidade

- uma, adoptada no contexto da Qualidade;
- outra, adoptada no contexto da Metrologia (rastreabilidade metrológica)

No contexto da Qualidade, a **Rastreabilidade** está associada a uma capacidade genérica de seguir a história, aplicação ou localização do que estiver a ser considerado. Como exemplo podemos referir que, no caso de um produto, a rastreabilidade pode relacionar-se com:

- a origem dos materiais e componentes;
- o historial do processamento;
- a distribuição e localização do produto após entrega.

(Ver 3.5.4 na NP EN ISO 9000:2005, Sistemas de Gestão da Qualidade – Fundamentos e Vocabulário).

Na mesma norma ISO 9000, é referido que, no campo da Metrologia, se aceita a definição dada pelo VIM.

Rastreabilidade metrológica

(metrological traceability / traçabilité métrologique)

Propriedade de um resultado de medição através da qual o resultado pode ser relacionado a uma referência por intermédio de uma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição

Vocabulário Internacional de Metrologia, 3ª Edição, IPQ, Novembro 2008

A raiz deste mesmo conceito em francês e inglês é equivalente à nossa palavra "traço", sendo portanto traçabilité e traceability respectivamente.

No contexto da Metrologia, podemos dizer que se trata de um conceito vertical (ver figura 2)

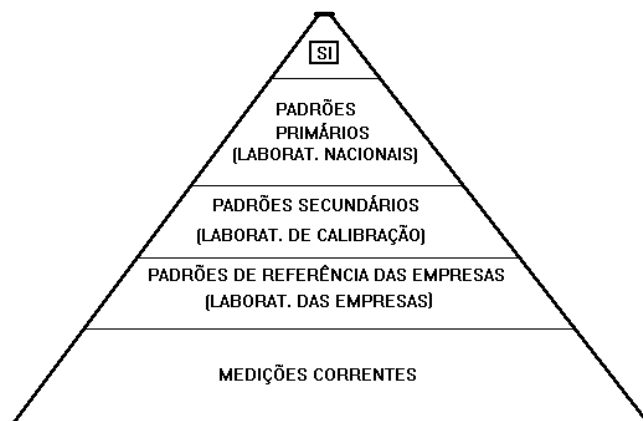


Figura 2 - Pirâmide metrológica, ligando as medições ao Sistema Internacional de Unidades (SI)

Notas do VIM acerca da definição de RASTREABILIDADE METROLÓGICA

NOTA 1 Para esta definição, uma “referência” pode ser a definição de uma unidade de medida através da sua realização prática, ou um procedimento de medição, incluindo a unidade de medida para uma grandeza não-ordinal, ou um padrão.

NOTA 2 A rastreabilidade metrológica exige o estabelecimento de uma hierarquia de calibração.

NOTA 3 A especificação da referência deve referir a data em que a referência foi usada no estabelecimento da hierarquia de calibração, bem como qualquer outra informação metrológica relevante acerca da referência, como, por exemplo, quando foi realizada a primeira calibração da hierarquia de calibração.

NOTA 4 Para medições com mais do que uma grandeza de entrada no modelo de medição, cada um dos valores das grandezas de entrada deve ser rastreado e a hierarquia de calibração pode formar uma estrutura ramificada ou uma rede. O esforço envolvido no estabelecimento da rastreabilidade para cada um dos valores das grandezas de entrada deve ser proporcional à importância relativa da sua contribuição para o resultado da medição.

NOTA 5 A rastreabilidade metrológica de um resultado da medição não assegura por si só que a incerteza de medição seja adequada para um determinado fim, nem a ausência de erros humanos.

NOTA 6 Uma comparação entre dois padrões pode ser vista como uma calibração se a comparação for usada para verificar e, se necessário, corrigir o valor da grandeza e a incerteza atribuídos a um dos padrões.

NOTA 7 O ILAC considera que os elementos necessários para confirmar a rastreabilidade metrológica são uma ininterrupta cadeia de rastreabilidade metrológica a um padrão internacional ou a um padrão nacional, a incerteza de medição documentada, um procedimento de medição documentado, a competência técnica acreditada, a rastreabilidade ao SI e os intervalos de calibração (ver ILAC P-10, 2002).

NOTA 8 O termo abreviado “rastreabilidade” é por vezes usado para designar a rastreabilidade metrológica, assim como de outros conceitos como a “rastreabilidade da amostra” ou de um documento ou de um instrumento ou de um material, significando a história (“rastros”) de uma entidade. Sempre que exista a possibilidade de confusão deve usar-se o termo completo “rastreabilidade metrológica”.

6.1 – Calibração

A calibração dos instrumentos de medição é uma ferramenta básica para assegurar a rastreabilidade de uma medição.

A calibração envolve a determinação das características metrológicas de um instrumento, sendo conseguida através de uma comparação directa com padrões.

A uma calibração corresponde a emissão de um certificado de calibração e a colocação de uma etiqueta. Baseado nesta informação um utilizador pode decidir se o instrumento é adequado à aplicação em causa.

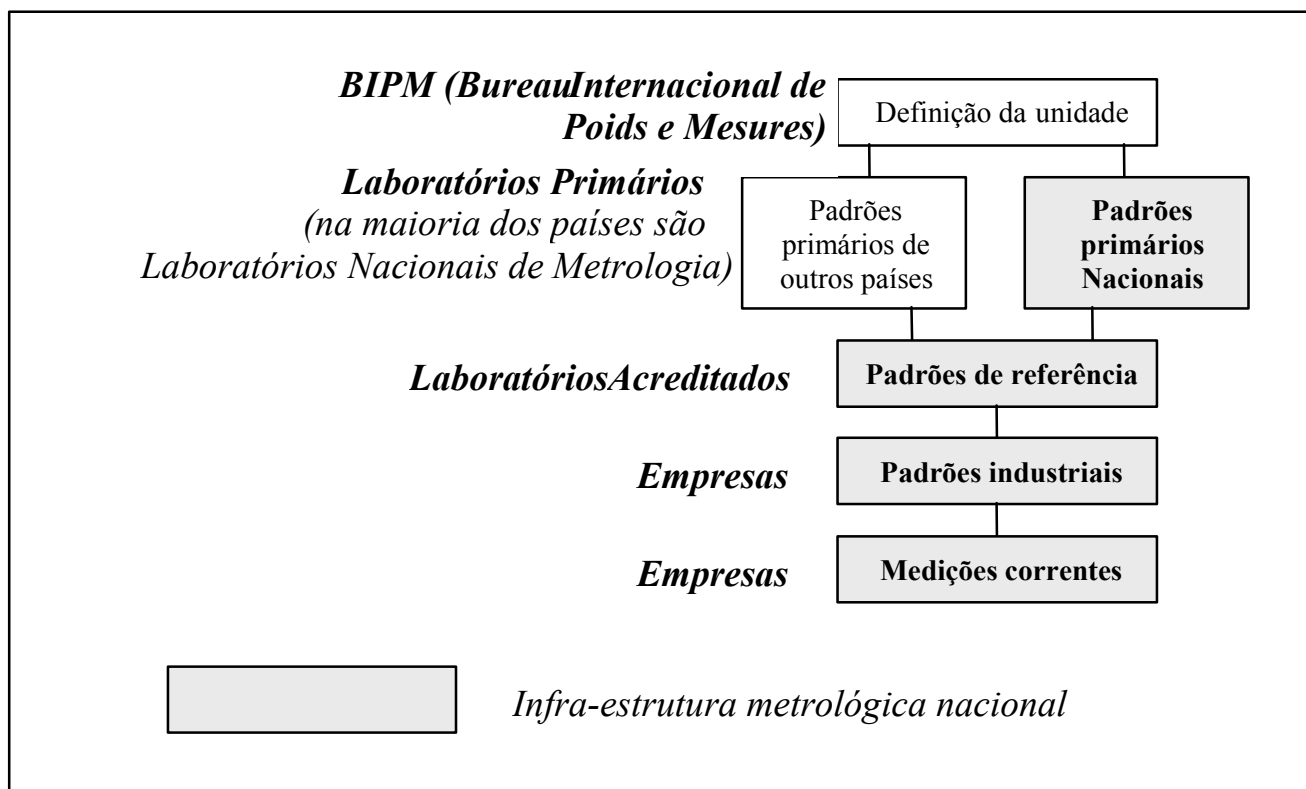
Existem três razões principais para se utilizarem instrumentos calibrados:

- Assegurar que as leituras de um instrumento são consistentes com outras medições;
- Determinar a exactidão das leituras do instrumento;
- Estabelecer a viabilidade do instrumento, i. e., se se pode confiar nele.

Através da calibração é possível:

- atribuir os valores das mensurandas às indicações;
- determinação das correcções relativas às indicações;
- determinar outras propriedades metrológicas tais como o efeito das grandezas de influência.

6.2 - Cadeia de rastreabilidade



6.3 – Padrões

Um padrão de medição pode ser um artefacto, um instrumento de medição, um material de referência ou um sistema de medição destinado a definir, realizar, conservar ou reproduzir uma unidade ou um ou mais valores de uma grandeza para servir de referência.

Exemplo: O metro é definido, como o comprimento do trajecto percorrido pela luz no vazio, durante um intervalo do tempo de $1 / 299\,792\,458$ do segundo, mas o metro é realizado ao nível primário, pelo comprimento de onda de um laser hélio-neon, estabilizado por uma célula de iodo.

Nos níveis inferiores da cadeia de rastreabilidade, são utilizadas as medidas materializadas como os blocos-padrão, sendo a rastreabilidade assegurada usando um interferómetro óptico para determinar o comprimento dos blocos-padrão, e tendo como referência o comprimento de onda da radiação laser.

Não existe uma lista internacional de todos os padrões de medição.

As definições dos diversos padrões são dadas no Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM)

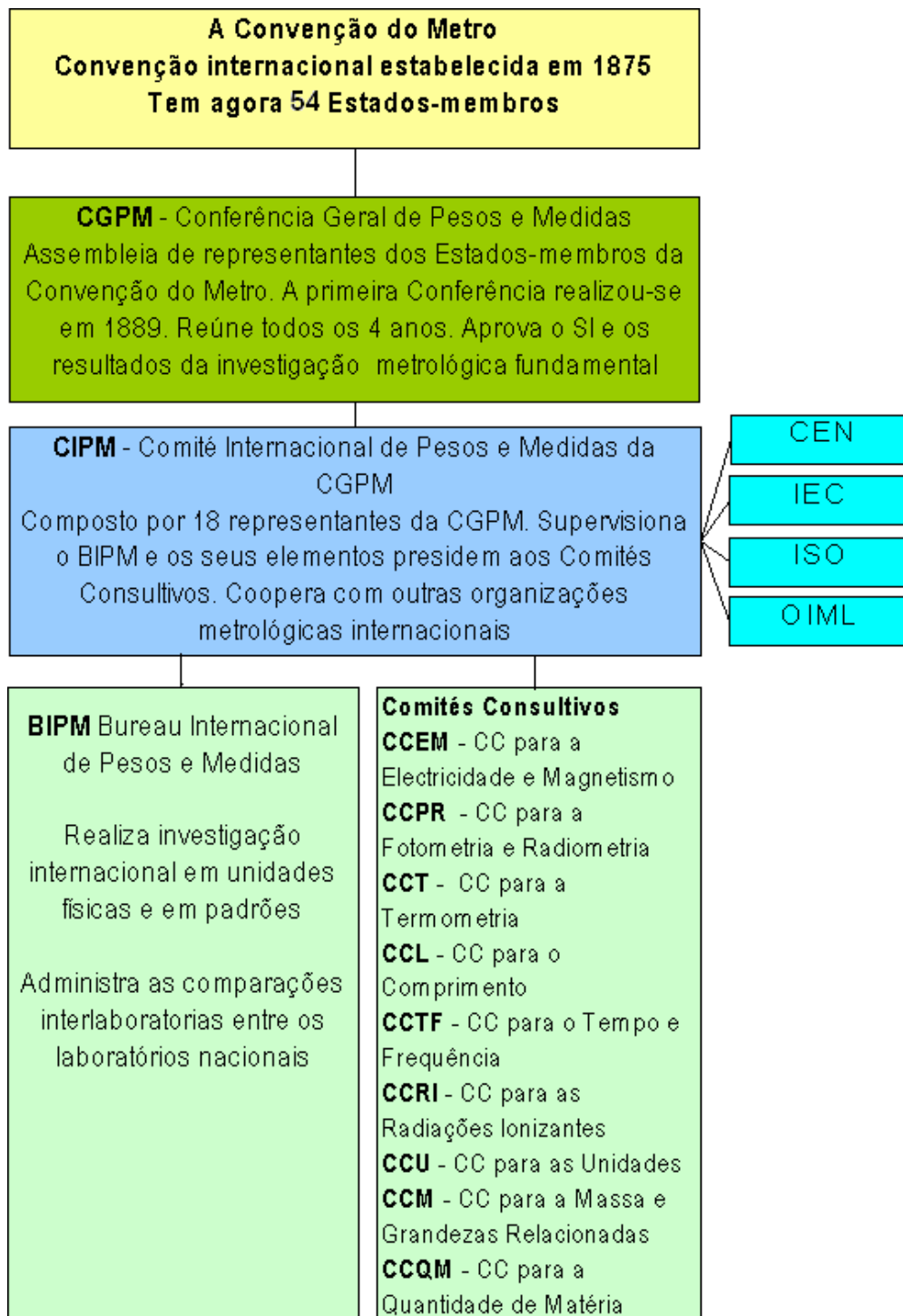
7 – Organização Internacional

7.1 – A Convenção do Metro

Em meados do século XIX tornou-se premente a necessidade da existência de um sistema métrico decimal universal, particularmente, durante a primeira exposição universal. Em 20 de Maio de 1875, ocorreu em Paris uma Conferência Diplomática sobre o metro, onde dezassete governos assinaram um tratado "**A Convenção do Metro**". Os signatários decidiram criar e financiar um instituto científico e permanente: o "Bureau International des Poids et Mesures", **BIPM**.

A "Conférence Général des Poids et Mesures", CGPM, discute e examina o trabalho executado pelos Laboratórios Nacionais de Metrologia, e o BIPM faz recomendações sobre novas determinações da metrologia fundamental e em todos os outros domínios de actuação do BIPM.

No dia 20 de Maio de cada ano é comemorado em todo o mundo o Dia da Metrologia.



7.2 – Laboratórios Nacionais de Metrologia

O Laboratório Nacional de Metrologia tem definição dada pelo EURAMET:

Laboratório Nacional de Metrologia (LNM) é um laboratório designado por decisão nacional para desenvolver e manter os padrões nacionais para uma ou mais grandezas.

Alguns países operam com uma estrutura metrológica centralizada, tendo, portanto, um único laboratório nacional de metrologia.

Também em alguns países o LNM subdelega a manutenção de alguns padrões nacionais a outros laboratórios que não têm o estatuto de laboratórios nacionais.

Há, no entanto, outros países que têm a estrutura metrológica totalmente descentralizada, havendo muitos laboratórios desses países que têm o estatuto de LNM.

Um LNM é o representante internacional do país nas relações com outros laboratórios nacionais de metrologia de outros países. Estas relações metrológicas desenvolvem-se nas Organizações Regionais de Metrologia (RMO) e no BIPM.

7.3 – Laboratórios Primários

Para que um laboratório possa ser considerado como primário é necessário:

- Que seja reconhecido internacionalmente pela realização primária de uma unidade de base do SI, ou pela realização de uma unidade derivada do SI a um nível considerado elevado;
- Que realize investigação em domínios bem definidos, e que esta actividade seja reconhecida internacionalmente;
- Que mantenha e desenvolva os padrões primários para a unidade que realiza;
- Que participe em comparações interlaboratoriais ao mais alto nível internacional

O Directório da EURAMET lista os laboratórios primários europeus.

7.4 – Laboratórios Acreditados

A acreditação é o reconhecimento, por um organismo independente, de que uma dada organização tem competência, organização e imparcialidade adequadas para determinada actividade. No caso dos laboratórios, é o reconhecimento de que cumpre todos os requisitos da ISO/IEC 17025, além de outros documentos de especificações e guias técnicos que, no caso português, são definidos pelo IPAC.

No quadro de cooperação da EA, qualquer certificado de calibração emitido por um laboratório que esteja acreditado por um organismo de acreditação europeu – que

seja signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo (MRA) – é equivalente a outros certificados com origem em países signatários do mesmo MRA.

Os certificados emitidos por laboratórios acreditados pelo Sistema Português da Qualidade (acreditados pelo IPQ) têm assegurado a rastreabilidade, o que não acontece nos laboratórios não acreditados. Nestes últimos, embora possam ter a rastreabilidade ao SI, a sua evidência não é linear, podendo mesmo ter que se recorrer a auditorias de segunda parte para se obter tal evidência.

7.5 – Organizações Europeias

Várias são as organizações que na Europa estão directa ou indirectamente relacionadas com a Metrologia.

7.5.1 – EURAMET (Metrologia) <http://www.euramet.org/>

Nota: O IPQ conta-se entre os fundadores da organização europeia de metrologia científica EURAMET, que sucedeu à EUROMET)

Foi ser criada em 11 de Janeiro de 2007 uma nova organização europeia na área da metrologia científica - a EURAMET. Esta organização sucedeu ao EUROMET que foi criada em 1983 com um estatuto de uma organização informal, agrupando os laboratórios nacionais de metrologia (NMI). A EURAMET é uma sociedade segundo a lei alemã, com o estatuto de entidade sem fins lucrativos.

A sessão inaugural, teve lugar em Berlim, contou com a representação ao mais alto nível das entidades nacionais metrológicas de cada país membro da UE, estando o IPQ entre os 20 países fundadores desta nova organização europeia que marcará a "agenda da investigação metrológica" para os próximos anos.

Deu-se assim um enorme passo em frente na integração dos esforços até aqui isolados e de mera colaboração na investigação e desenvolvimento da Metrologia científica e fundamental. Com efeito, os esforços nacionais nesta componente da Metrologia são agora orientados numa lógica de integração no espaço europeu potenciando as capacidades de cada um para a obtenção de um resultado comum. Este esforço conjugado – que se iniciou em 2004 com o projecto iMERA, que funcionou como um "piloto", foi a resposta dos NMI à Estratégia de Lisboa.

Esta nova organização EURAMET, agora legalmente constituída, dinamiza e gere com fundos próprios um Programa Europeu de Investigação Metrológica (EMRP) que inclui vários projectos e subprojectos transnacionais de geometria variável com vários parceiros e meios envolvidos de acordo com os interesses e competências de cada país membro, mas que contribuirão de forma mais segura para uma estratégia europeia comum neste domínio.

São 19 os países europeus, entre os quais se encontra Portugal, que participam através dos seus Laboratórios Metrológicos Nacionais no programa EMRP, a saber: Alemanha (PTB); Áustria (BEV); Bélgica (SMD); Dinamarca (DFM); Eslováquia (SMU); Eslovénia (MIRS); Espanha (CEM); Estónia (Metrosert Ltd.), Finlândia (MIKES); França (LNE); Holanda (Nmi); Itália (INRIM); Noruega (JV); Portugal (IPQ); Reino Unido (NPL); República Checa (CMI); Suécia (SP); Suíça (Metas); Turquia (UME).

Acerca da EUROMET, agora reorganizada com a denominação de EURAMET

A EUROMET era uma organização europeia de metrologia (científica), de adesão voluntária, constituída por institutos nacionais da metrologia (NMIs) da União Europeia e da EFTA.

A EUROMET conduziu projectos de investigação de ponta, comparações interlaboratoriais e estudos de rastreabilidade nas medições.

A EUROMET foi a principal organização europeia para a Metrologia, apoiando a Comissão Europeia e gerindo projectos da UE com interesse para o mercado comum.

A EUROMET foi uma organização regional, conforme o acordo multilateral da Comissão Internacional de Pesos e Medidas, para o reconhecimento dos padrões nacionais.

Em 2007 a EUROMET tinha 34 membros, com quase todos os estados europeus representados.

O objectivo de EUROMET era promover a coordenação de actividades e serviços metrológicos com a finalidade de conseguir uma elevada eficiência.

*A EUROMET foi estabelecida formalmente em Madrid, em 23 Setembro 1987, onde foi assinado um memorando (MOU – **M**emorandum **o**f **U**nderstanding), tendo começado a actuar em 1 Janeiro 1988.*

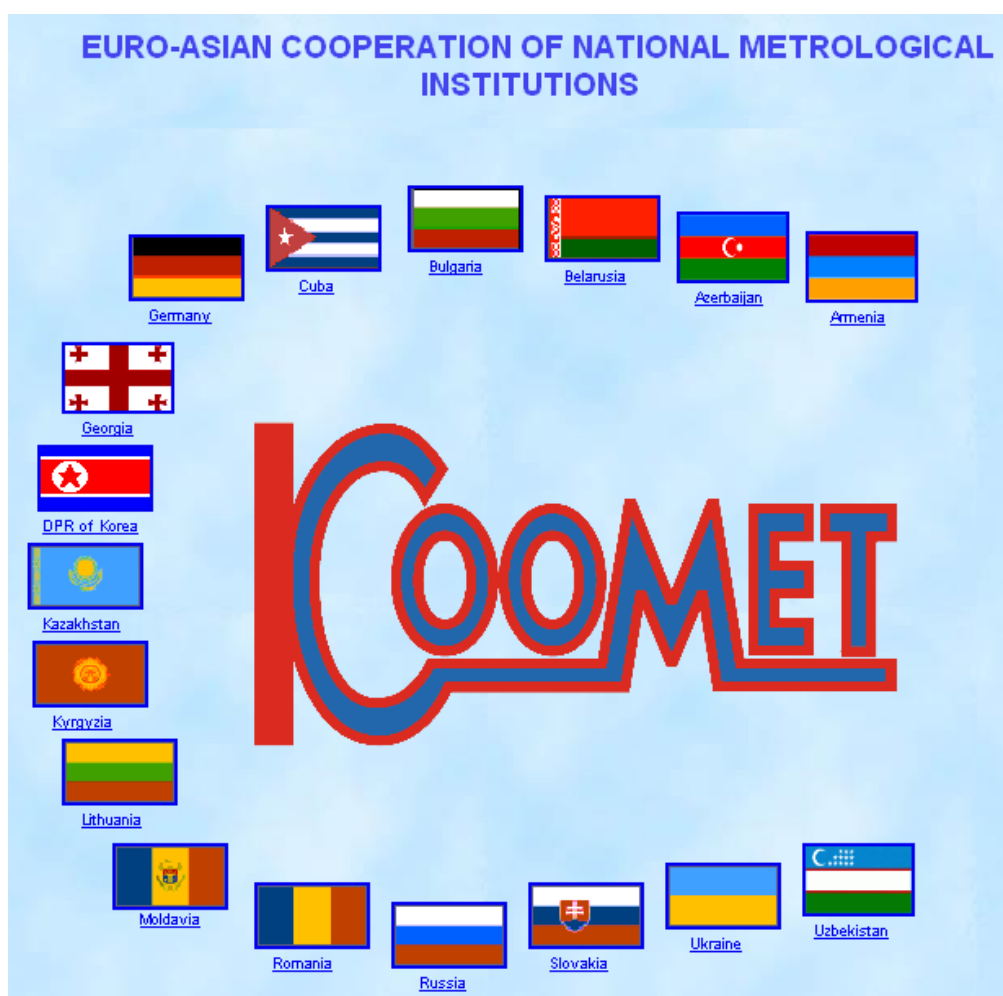
Desde então, o MOU foi emendado duas vezes (em 1995 e em 1998).

«Metrology, which is the science of measurement, plays a key role in industry, international trade and in everyday life. Accurate and reliable measurements are critical in assuring product quality, and in supporting environmental, health and safety issues. An accurate system of weights and measures is an essential pre-requisite for global and national economic activity, fair-trading, quality control and serves to protect the customer².»

² A metrologia, considerada que é como a ciência da medição, tem um papel chave na indústria, comércio internacional e na vida diária de cada cidadão. Medidas exactas, de confiança e comparáveis, são fundamentais para assegurar a qualidade de produto, assegurar a qualidade do ambiente, da saúde e da segurança. Um sistema exacto de pesos e de medidas é um pré-requisito essencial para a actividade económica, controlo da qualidade, permitindo uma protecção integrada do consumidor.

7.5.2 – COOMET (Metrologia) <http://www.coomet.org/>

É uma organização que actua de modo equivalente ao EUROMET, mas que é constituída por países da Europa central e de leste.



7.5.3 – OIML (Metrologia Legal)

É a Organização Internacional de Metrologia Legal, fundada em 1955, que, como o próprio nome indica, tem vocação para a metrologia legal. Promove a harmonização de procedimentos no âmbito daquela categoria da metrologia.

A OIML colabora com a Convenção do Metro e o BIPM na organização internacional da metrologia legal.

7.5.4 – WELMEC (Metrologia) <http://www.welmec.org/>

A sigla não corresponde ao nome que actualmente tem – “Cooperação Europeia de Metrologia Legal”. Originalmente era constituída por países da Europa Ocidental (Western), tendo sido criada em 1990 pelos 15 países membros da UE e por mais três da EFTA, para preparar e organizar a aplicação das directivas “nova abordagem”. Actualmente são 37 os países membros.

7.5.5 – EUROLAB (Ensaios)

É uma federação das organizações nacionais da Europa, que abrange mais de 2000 laboratórios (de calibração e ensaio).

Caracteriza-se por ser de adesão voluntária, representando e promovendo as organizações de laboratórios, coordenando as acções que se relacionam com a

Comissão Europeia, a normalização e outros assuntos que interessam à comunidade dos laboratórios europeus.

A RELACRE – Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal, representa os laboratórios portugueses na EUROLAB.

7.5.6 – EURACHEM (Ensaaios)

É a associação de laboratório químico-analíticos da Europa, colaborando com a EURAMET principalmente quanto à rastreabilidade, particularmente no que respeita à mole, e ao uso em geral de materiais de referência.

7.5.7 - EA – Cooperação Europeia para a Acreditação

Não é propriamente uma organização de Metrologia, mas grande parte da sua actividade prende-se com questões relacionadas com laboratórios de calibração.

Foi criada quando do MRA e baseia-se no reconhecimento entre todos os seus membros, compreendendo 15 organismos nacionais de acreditação e tem acordos bilaterais com organismos de outros países.

7.5.8 – ILAC – (Acreditação)

ILAC - the International Laboratory Accreditation Cooperation , é a organização para a cooperação internacional entre os vários organismos de acreditação de laboratórios operando em todo o mundo. Fundada em 1978, primeiramente como uma conferência, tem como objectivo desenvolver a cooperação internacional para facilitar o comércio e promovendo a aceitação dos ensaios e da calibração realizados em organismos acreditados. O ILAC foi formalizado como uma cooperação em 1996 em que 44 organismos nacionais assinaram o «Memorandum of Understanding» (MOU) em Amsterdão. Este MOU forneceu a base para o desenvolvimento da cooperação e o estabelecimento eventual de um acordo multilateral do reconhecimento entre organismos de acreditação, membros do ILAC.

APÊNDICE-1

(em www.ipq.pt)

DENOMINAÇÃO E VALORES DAS MEDIDAS ANTIGAS	Medidas de extensão em metros	MEDIDAS DE CAPACIDADE		Medidas de Pesos em Quilogramas	Medidas de superfície em ares
		Para secos em litros	Para líquidos em litros		
Vara =5 palmos=4 quartas= 6 sesmas	1,10				
Covado = 3palmos = 8 oitavas	0,66				
Braça = 2 varas = 10 palmos = 80 polegadas	2,20				
Passo geométrico = 5 pés = 60 polegadas	1,65				
Pé = 12 polegadas = 144 linhas	0,33				
Palmo = 8 polegadas = 96 linhas = 1152 pontos	0,22				
Moio = 15 fangas = 60 alqueires = 240 quartas = 960 maquias		828,00			
Sacco = 6 alqueires= 24 quartas = 96 maquias =192 selamins		82,80			
Fanga = 4 alqueires = 16 quartas= 64 maquias = 128 selamins		55,20			
Alqueire = 4 quartas = 16 maquias = 32 selamins		13,80			
Pipa = 25 almudes = 300 canadas			420,00		
Almude =12 canadas = 48 quartilhos			16,80		
Canada = 2 meias canadas = 4 quartilhos			1,40		
Arroba = 32 arrateis = 128 quartas = 512 onças = 4096 oitavas = 294913 grãos				14,688	
Arratel = 4 quartas = 16 onças = 128 oitavas = 9216 grãos				0,459	
Marco de ourives = 8 onças =64 oitavas =192 scroupulos = 1152 quilates = 4608 grãos				0,2295	
Geira = 4840 varas quadradas					58,5640
Geira é, mais geralmente, a porção de terreno que dois bois lavram em um dia, ou a porção de terreno que em um dia 50 homens cavam.					

Receitas de cozinha anteriores à Introdução do Sistema Métrico Decimal

transcritas do livro de receitas "O Cosinheiro Completo"

editado no início do século XIX

Pão de ló de amendoas

Deite-se um arratel de amendoas cortadas pelo meio e outro arratel mal pisadas, em dois arrateis e meio de assucar em ponto pedra; dando-se-lhe duas voltas no lume; tira-se fóra, bate-se muito bem até levantar: deite-se na pedra, ou em uma bacia untada, bolindo-se com ella, para que perca o lustre; corte-se em talhadas e mande-se á meza.

Borôas

Querendo-se fazer um alqueire, deve levar meio alqueire e uma oitava de farinha de milho, sendo boa e bem penneirada, e tres oitavas de farinha de trigo alva, uma canada de azeite bom, uma quarta de herva doce escolhida e bem pisada; deita-se o azeite em um tachinho com a herva doce dentro, pões-se ao lume até estar quasi a ferver, e então estando a farinha de milho separada em um alguidar, deita-se-lhe por cima o azeite e herva doce para escaldar o milho, mexendo-se muito bem com uma colher, para ficar o azeite bem introduzido na farinha; abafa-se um boccadinho e depois deita-se a farinha alva de maneira que fique bem misturada com a outra; leva tres arrateis de assucar de caixa limpo, não perdendo por levar mais, e levando mel, seja um quartilho, tirando-se um arratel de assucar; o assucar pões-se ao lume com agua sufficiente para se derreter; leva uma quarta de canela pisada e o sal e pimenta sufficiente, fazendo-se a presa como para amassar bolos, misturando-se a canella e o assucar ou mel, e um arratel de cidrão picado: formam-se as brôas, vão ao forno.

Querendo fazer meia porção, parte-se ao meio todo o receituário; e a quarta parte, pratica-se do mesmo modo, dividindo-se o todo por quatro.

Arroz doce

Enteze-se em agua um arratel de arroz, e depois coza-se com uma canada de leite, um arratel de assucar e agua flor; quando estiver cozido, mande-se á meza com canella por cima.

Bolos de assucar

Deite-se em uma quarta de farinha dois arrateis de assucar, meio arratel de manteiga, duas gemas de ovos, um copinho de vinho branco, agua almiscarada, fermento e sal; esfregue-se esta massa muito bem nas mãos; fazem-se os bolinhos e quando vem do forno borrifam-se com agua de flor.

ANEXO 2

(A Metrologia em Laboratório Fabril)

Cadernos Técnicos Carlos Sousa

SPQ SISTEMA PORTUGUÊS DA QUALIDADE

SISTEMA PORTUGUÊS DA QUALIDADE

ÍNDICE

	Página
Nascimento e crescimento do SPQ	4
O regredir do SPQ	5
Missão do IPQ	6
Atribuições do IPQ	7
O Instituto Português de Acreditação	10
Definições	10
Legislação Revogada pelo DL 140/2004	13

Nascimento e crescimento do SPQ

O Instituto Português da Qualidade (IPQ) é o organismo gestor e coordenador do Sistema Português da Qualidade.

O IPQ foi criado em 1986 através do Decreto-Lei nº 183/86, de 12 de Julho. Assim, o Estado Português dotou-se de um organismo nacional responsável pelas actividades de normalização, certificação e metrologia. O IPQ ficou também guardião da unidade de doutrina e acção do Sistema Nacional de Gestão da Qualidade (SNGQ, que era a denominação inicial do Sistema Português da Qualidade). O SNGQ foi instituído em 1983, pelo Decreto-Lei nº 165/83.

As preocupações crescentes ao nível mundial no domínio da qualidade, como:

- factor determinante para a produtividade e competitividade das actividades de todos os agentes económicos, onde se incluem todos os serviços estatais (Administração, Justiça, Ensino, etc.);
- elemento essencial para a qualidade de vida dos cidadãos,

criaram a necessidade de se proceder a ajustamentos orgânicos no IPQ, por via do Decreto Regulamentar nº 56/91. Desde a publicação daquele diploma, foram progressivamente atribuídas ao IPQ maiores responsabilidades e áreas de intervenção e mesmo de coordenação ao nível da responsabilidade do Estado enquanto promotor e facilitador da modernização do tecido empresarial português.

Em 1993, pelo Decreto-Lei nº 234/93, o Sistema Português da Qualidade (SPQ) veio substituir o Sistema Nacional de Gestão da Qualidade (SNGQ).

Em 2002, pelo Decreto-Lei nº 4/2002, é feita uma profunda revisão ao SPQ, passando este sistema a depender directamente da Presidência do Conselho de Ministros. Assim, o SPQ era dirigido pelo Conselho Nacional da Qualidade (CNQ), o qual era dependente do Primeiro-Ministro, o que permitia dar força maior a todas as actividades da **Qualidade** e tornar este vector estratégico da sociedade absolutamente transversal, independentemente do domínio de actividade, nitidamente acima do espírito economicista das legislações anteriores. Era notável que a Qualidade passava a ser de responsabilidade directa da Gestão de Topo do País.

O regredir do SPQ

Em Maio de 2002, por um equívoco governamental (a juventude e inexperiência terão sido as verdadeiras culpadas) o XV Governo Constitucional extinguiu o Conselho Nacional da Qualidade (CNQ), que, como vimos, tinha sido reestruturado em Janeiro de 2002.

Ao extinguir o CNQ e a orientação directa da Presidência do Conselho de Ministros sobre a Qualidade, o nosso sistema de qualidade regrediu 20 anos!

A formalização desta extinção tornou-se um parto difícil (quem fez a asneira acabou por perceber o que fez) mas havia que “salvar a face” e em 30 de Outubro de 2002, pelo Decreto-Lei nº 226/2002, procedeu-se ao processo de extinção do CNQ. Em 2 de Novembro de 2002, pelo Decreto-Lei nº 233/2002, procedeu-se à extinção do Observatório da Qualidade (organismo também criado em Janeiro). As competências e atribuições do CNQ e do OQ foram então transferidas para o IPQ.

Em 8 de Junho de 2004, pelo Decreto-Lei 140/2004, o Decreto-Lei 4/2002 é revogado, sendo feito novo enquadramento do Sistema Português da Qualidade.

Em 27 de Abril de 2007, pelo Decreto-Lei 142/2007, novo enquadramento legal foi publicado, sendo uma sequência directa do quadro das orientações definidas pelo Programa de Reestruturação da Administração Central do Estado (PRACE) e da Resolução do Conselho de Ministros n.º 124/2006, de 3 de Outubro, que procedeu à reforma dos laboratórios do Estado.

o Instituto Português da Qualidade, I. P. (IPQ), viu reforçadas as suas atribuições e responsabilidades de promotor institucional da qualidade em Portugal, enquanto organismo nacional coordenador do Sistema Português da Qualidade (SPQ), vendo acrescidas as suas atribuições no âmbito da metrologia científica, por integração das que estavam confiadas ao INETI—Instituto Nacional da Inovação e Tecnologia Industrial, I. P., instituição que foi objecto de extinção.

Nos termos da Lei Orgânica do Ministério da Economia e da Inovação, cabe agora ao IPQ a missão de promover a qualidade em Portugal, assumindo-se como um agente privilegiado de mudança no país, ao nível da economia interna e da competitividade internacional.

Missão do IPQ

O IPQ tem por missão a coordenação do Sistema Português da Qualidade (SPQ) e de outros sistemas de qualificação regulamentar que lhe forem conferidos por lei, a promoção e a coordenação de actividades que visem contribuir para demonstrar a credibilidade da acção dos agentes económicos, bem como o

desenvolvimento das actividades inerentes à sua função de laboratório nacional de metrologia.

Atribuições IPQ

São atribuições do IPQ, I. P., enquanto organismo nacional **coordenador do SPQ**, Organismo Nacional de **Normalização** e Instituição Nacional de **Metrologia**:

- a) Gerir, coordenar e desenvolver o Sistema Português da Qualidade, numa perspectiva de integração de todas as componentes relevantes para a melhoria da qualidade de produtos, de serviços e de sistemas da qualidade e da qualificação de pessoas;
- b) Promover o desenvolvimento do SPQ, com vista ao incremento da qualidade, contribuindo para o aumento da produtividade, competitividade e inovação em todos os sectores públicos e privados da sociedade portuguesa;
- c) Garantir e desenvolver a qualidade através do estabelecimento de protocolos e parcerias estratégicas com entidades públicas, privadas e da economia social, bem como com infra-estruturas científicas e tecnológicas que, voluntariamente ou por inerência de funções, congreguem esforços para definir princípios e meios que tenham por objectivo padrões de qualidade;
- d) Promover e dinamizar comissões sectoriais e outras estruturas da qualidade integradas no SPQ, preparando e gerindo o calendário das respectivas acções, encontros e reuniões;
- e) Instituir as marcas identificadoras do SPQ e assegurar a respectiva gestão;

- f) Garantir a realização e dinamização de prémios de excelência, como forma de reconhecimento e afirmação das organizações;
- g) Promover e desenvolver acções de formação e de apoio técnico no domínio da qualidade, designadamente, no âmbito da qualificação, da normalização e da metrologia;
- h) Desenvolver actividades de cooperação e de prestação de serviços a entidades nacionais e estrangeiras interessadas no domínio da qualidade;
- i) Propor ao membro do Governo da tutela medidas conducentes à definição de políticas nacionais relativas ao SPQ no âmbito da normalização, qualificação e metrologia, nos domínios voluntário e regulamentar;
- j) Promover a elaboração de normas portuguesas, garantindo a coerência e actualidade do acervo normativo nacional, e promover o ajustamento de legislação nacional sobre produtos às normas da União Europeia;
- l) Qualificar e reconhecer como organismos de normalização sectorial (ONS) as entidades públicas ou privadas nas quais o IPQ, I. P., delegue funções de normalização técnica em sectores de actividade específicos;
- m) Coordenar e acompanhar os trabalhos de normalização nacional desenvolvidos no âmbito da rede de organismos de normalização sectorial (ONS), comissões técnicas de normalização e outras entidades qualificadas no âmbito do SPQ;
- n) Assegurar a representação de Portugal como membro das organizações de normalização europeias e internacionais e as obrigações daí decorrentes, nomeadamente, a participação nos respectivos trabalhos, a promoção do inquérito público, a votação, difusão e integração das normas no acervo normativo nacional e a sua promoção e venda;

- o) Gerir o sistema de notificação prévia de regulamentos técnicos e de normas, no âmbito da União Europeia e da Organização Mundial de Comércio, de acordo com a legislação aplicável;
- p) Assegurar o cumprimento dos procedimentos das directivas comunitárias no que diz respeito à qualificação, notificação à Comissão Europeia e manutenção actualizada da base de dados dos organismos notificados no âmbito de cada directiva;
- q) Acompanhar iniciativas e programas comunitários que tenham implicações no seu âmbito de actividade;
- r) Assegurar a implementação, articulação, inventariação de cadeias hierarquizadas de padrões de medida e promover o estabelecimento de redes de laboratórios metrológicos acreditados;
- s) Gerir o laboratório nacional de metrologia, assegurando a realização, manutenção e desenvolvimento dos padrões nacionais das unidades de medida e a sua rastreabilidade ao Sistema Internacional (SI), promovendo a disseminação dos valores das unidades SI no território nacional;
- t) Assegurar e gerir o sistema de controlo metrológico legal dos instrumentos de medição, reconhecer entidades competentes para o exercício delegado desse controlo e coordenar a rede por elas constituída, garantindo a efectiva cobertura a nível nacional;
- u) Assegurar a representação de Portugal como membro das organizações de metrologia europeias e internacionais e as obrigações daí decorrentes;
- v) Gerir o Museu de Metrologia e promover a recolha, preservação, estudo e divulgação do espólio metrológico com interesse histórico.

O Instituto Português de Acreditação

Como factor evolutivo, salienta-se a criação do Instituto Português de Acreditação, (IPAC), na sequência de imperativos comunitários, o que conduziu à saída da esfera do IPQ das atribuições no âmbito do SPQ, que são potencialmente conflituantes com aquela área de actuação.

O Decreto-Lei nº 186/2003, de 20 de Agosto, é o diploma que actualiza e optimiza os diversos serviços do Ministério da Economia, e marcou o início do processo de reestruturação do IPQ em 2004.

O IPAC é o **Organismo Nacional de Acreditação**.

Definições

Para efeitos do Sistema Português da Qualidade, consideram-se as seguintes definições:

- a) «Sistema Português da Qualidade (SPQ)» o conjunto integrado de entidades e organizações interrelacionadas e interactuantes que, seguindo princípios, regras e procedimentos aceites internacionalmente, congrega esforços para a dinamização da qualidade em Portugal e assegura a

coordenação dos três subsistemas – da normalização, da qualificação e da metrologia – com vista ao desenvolvimento sustentado do País e ao aumento da qualidade de vida da sociedade em geral;

- b) «Subsistema da metrologia» o subsistema do SPQ que garante o rigor e a exactidão das medições realizadas, assegurando a sua comparabilidade e rastreabilidade, a nível nacional e internacional, e a realização, manutenção e desenvolvimento dos padrões das unidades de medida;
- c) «Subsistema da normalização» o subsistema do SPQ que enquadra as actividades de elaboração de normas e outros documentos de carácter normativo de âmbito nacional, europeu e internacional;
- d) «Subsistema da qualificação» o subsistema do SPQ que enquadra as actividades da acreditação, da certificação e outras de reconhecimento de competências e de avaliação da conformidade, no âmbito do SPQ;
- e) «Qualidade» o conjunto de atributos e características de uma entidade ou produto que determinam a sua aptidão para satisfazer necessidades e expectativas da sociedade.

Algumas outras definições que não constam do Decreto-Lei 142/2007:

- ✓ «**Acreditação**» é o procedimento através do qual o organismo nacional de acreditação (ONA) reconhece, formalmente, que uma entidade é competente tecnicamente para efectuar uma determinada função específica, de acordo com normas internacionais, europeias ou nacionais, baseando-se, complementarmente, nas orientações

emitidas pelos organismos internacionais de acreditação de que Portugal faça parte;

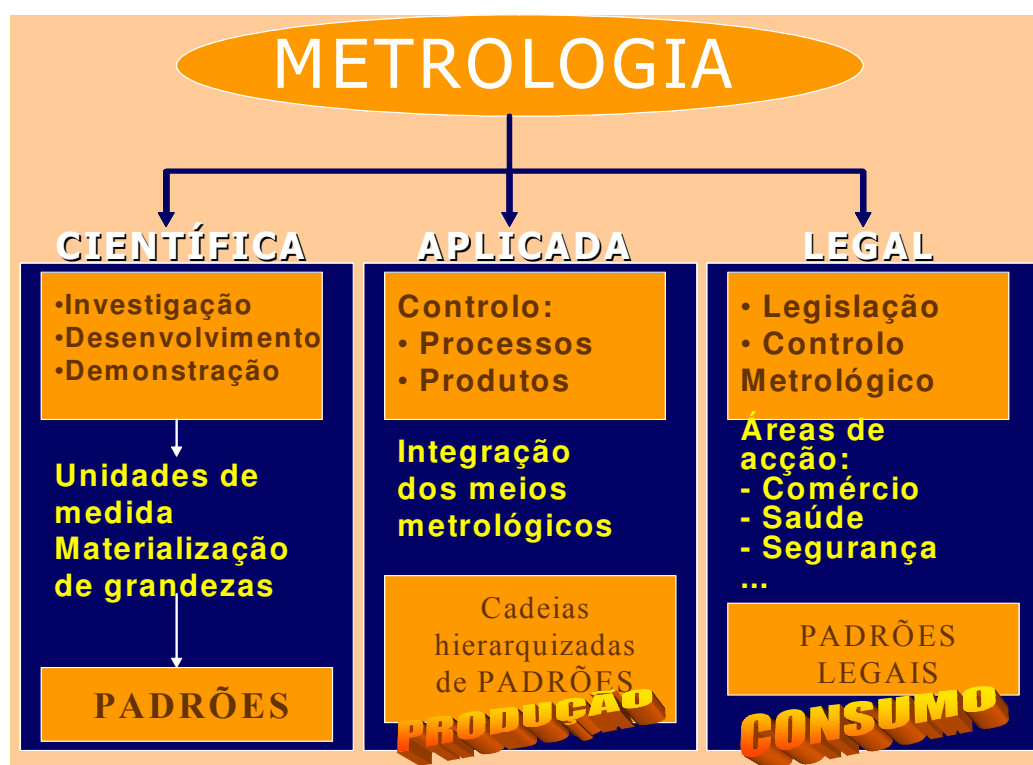
- ✓ «Certificação» é o procedimento através do qual uma terceira parte acreditada dá uma garantia escrita de que um produto, processo, serviço ou sistema está em conformidade com requisitos especificados;
- ✓ «Laboratório central de metrologia» é constituído pelo conjunto de unidades laboratoriais que apoiam os trabalhos de metrologia científica e aplicada, sob a superintendência do Departamento de Metrologia do IPQ, o qual assegura o funcionamento do subsistema da metrologia;
- ✓ «Museu de Metrologia» é a área funcional do Departamento de Metrologia que garante a conservação e divulgação do espólio metrológico público com interesse histórico;
- ✓ «Órgão gestor do SPQ» é o órgão que garante o planeamento, a dinamização e a avaliação das actividades a desenvolver no âmbito do SPQ. O órgão gestor do SPQ é o IPQ;
- ✓ «Organismo nacional de acreditação (ONA)» é a entidade à qual o Estado Português confere, por lei, as atribuições relativas ao desenvolvimento das actividades de acreditação, isto é, de reconhecimento de competência técnica. O ONA é o Instituto Português de Acreditação, IP (IPAC);

Legislação Revogada

- a) O Decreto-Lei nº 113/2001, de 7 de Abril, alterado pelo Decreto-Lei nº 324/2001, de 17 de Dezembro, salvo o disposto no artigo 2º do Decreto-Lei nº 113/2001, de 7 de Abril, em relação à manutenção do quadro de pessoal previsto no Decreto Regulamentar nº 56/91, de 14 de Outubro, e suas alterações;
- b) O Decreto-Lei nº 4/2002, de 4 de Janeiro;
- c) A alínea i) do nº 2 do artigo 36.o do Decreto-Lei nº 186/2003, de 20 de Agosto;
- d) A alínea h) do nº 2 do artigo 2.o do Decreto-Lei nº 187/2003, de 20 de Agosto;
- e) A alínea h) do nº 3 do artigo 1.o do Decreto-Lei nº 191/2003, de 22 de Agosto;
- f) O Decreto-Lei nº 140/2004, de 8 de Junho.

Cadernos Técnicos Carlos Sousa

CATEGORIAS DA METROLOGIA



Índice do capítulo “Categorias da Metrologia”

Capítulo	Título	Página
1	O Sistema Português da Qualidade	4
2	O Subsistema da Metrologia	5
3	As três categorias da Metrologia	6
4	Metrologia Científica, Primária ou Fundamental	8
5	Metrologia Aplicada (Industrial)	9
6	Metrologia legal	10
6.1	Generalidades sobre a Metrologia Legal	10
6.2	Regulamentação do controlo metrológico	11
6.2.1	Objectivos	11
6.2.2	Domínio	11
6.2.3	Operações	12
7	Directiva dos Instrumentos de Medição (MID)	14
8	Acesso aos diplomas da MID	19

CATEGORIAS DA METROLOGIA

1 - O Sistema Português da Qualidade

*Sistema
Português
da
Qualidade*

Em todos os domínios (indústria, comércio e serviços) é hoje um objectivo bastante generalizado a certificação das empresas segundo o modelo das normas 9000. O Sistema Português da Qualidade, estrutura base para a certificação e qualificação em termos de Qualidade, foi criado em 1983 (Decreto-Lei 165/83 sendo então denominado Sistema Nacional de Gestão da Qualidade. Em 1993 foi revisto pelo Decreto-Lei 234/93.

Em 2002, nova revisão foi efectuada, tendo sido publicado em 2002-01-04 o Decreto-Lei nº 4/2002 (este decreto sofreu alteração pelos Decretos-Lei nº 226/2002, de 30 de Outubro e nº 233/2002, de 2 de Novembro).

Toda a legislação de 2002 foi revogada pelo DL 140/2004, de 8 de Junho, cujo conteúdo versa a reestruturação do IPQ.

Novamente foi publicado um diploma que adapta à reestruturação do Instituto Português da Qualidade todo o Sistema Português da Qualidade. Esse diploma é o Decreto-Lei nº 142/2007, de 27 de Abril, que revogou o Decreto-Lei nº 104/2004.

«Sistema Português da Qualidade (SPQ)» o conjunto integrado de entidades e organizações interrelacionadas e interactuantes que, seguindo princípios regras e procedimentos aceites internacionalmente, congrega esforços para a dinamização da qualidade em Portugal e assegura a coordenação dos três subsistemas – da normalização, da qualificação e da metrologia – com vista ao desenvolvimento sustentado do País e ao aumento da qualidade de vida da sociedade em geral.

Decreto-lei 142/2007

2 - O Subsistema da Metrologia

«Subsistema da metrologia» é o subsistema do SPQ que garante o rigor e a exactidão das medições realizadas, assegurando a sua comparabilidade e rastreabilidade, a nível nacional e internacional, e a realização, manutenção e desenvolvimento dos padrões das unidades de medida

Decreto-lei 142/2007

Os outros subsistemas são:

«Subsistema da normalização» o subsistema do SPQ que enquadra as actividades de elaboração de normas e outros documentos de carácter normativo de âmbito nacional, europeu e internacional.

«Subsistema da qualificação» o subsistema do SPQ que enquadra as actividades da acreditação, da certificação e outras de reconhecimento de competências e de avaliação da conformidade, no âmbito do SPQ;

3 - As três categorias da Metrologia

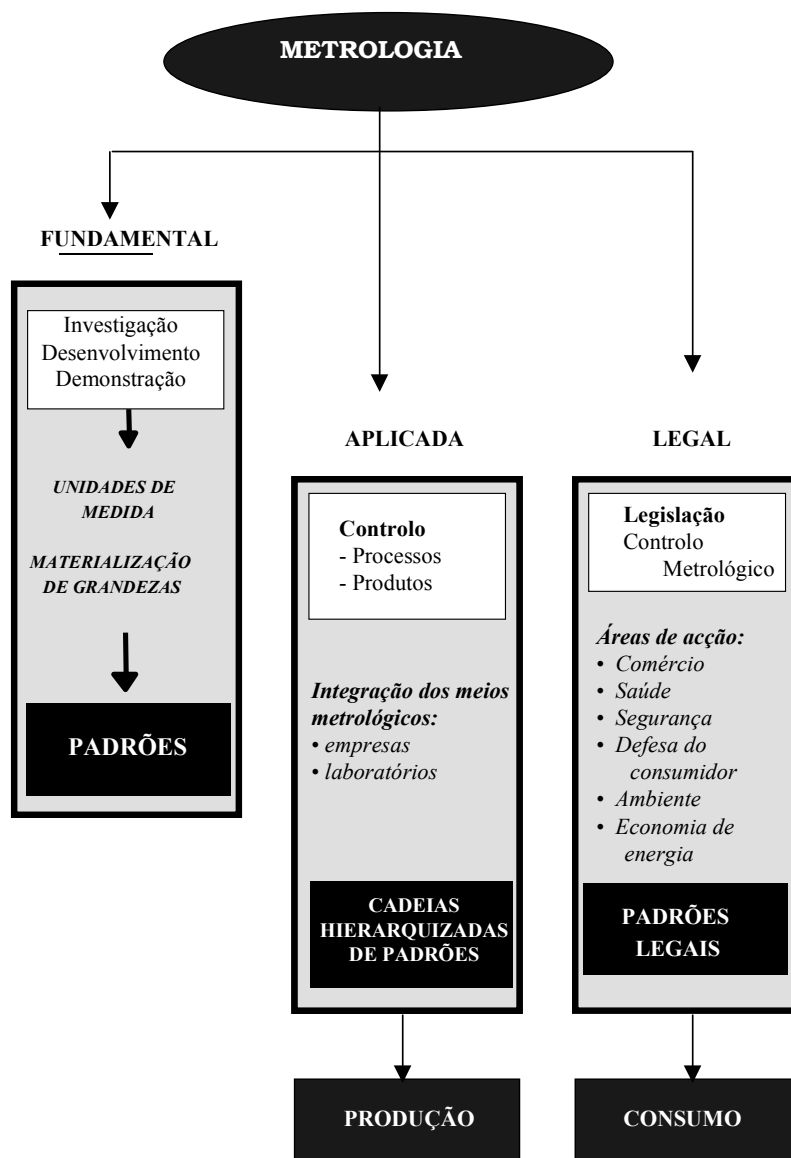
Mas outra legislação existe, que obriga a comunidade em geral - ao contrário do SPQ que é de adesão voluntária - tendo como fim a defesa do consumidor em termos económicos e de segurança. Trata-se da legislação que abrange todo o controlo metrológico dos instrumentos de medição que de algum modo podem afectar a comunidade em domínios tais como a defesa do consumidor, a saúde, a segurança, a energia, etc.

*As três
categorias
da
Metrologia*

Surgem assim duas categorias de metrologia, sendo habitual acrescentar-se mais um nível, o da metrologia fundamental (científica ou primária), este diferenciado dos outros dois níveis quer pelo modo como actua - produzindo padrões a partir de definições (físicas, por exemplo) - quer pela relação que estabelece com os outros dois níveis, estes dependendo daquela em termos de rastreabilidade.

Metrologia: Científica, Aplicada¹ e Legal

As três
categorias
da
Metrologia



¹ A "Metrologia Aplicada" também é conhecida por "Metrologia Industrial", mas esta última designação tende a cair em desuso.

4 - Metrologia Científica, Primária ou Fundamental

Realiza as unidades de medida a partir da definição, recorrendo a ciências (física e outras), bem como as constantes físicas fundamentais, desenvolvendo, mantendo e conservando os padrões de referência. Actua a nível da mais alta exactidão e incerteza, sendo independente de outras entidades em termos de rastreabilidade. A garantia dos valores obtidos assenta fortemente em exercícios de comparação interlaboratorial com outros laboratórios primários.

Os laboratórios primários nacionais têm competências específicas, a saber:

- acompanhar e realizar os padrões das unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI)
- promover e, de um modo geral, acompanhar o desenvolvimento e a conservação dos padrões nacionais

Em Portugal aquelas funções competem ao IPQ, através do Laboratório Central de Metrologia e laboratórios a quem aquelas funções são confiadas pelo IPQ em áreas específicas e bem determinadas.

5 - Metrologia Aplicada (Industrial)

Âmbito das medições na produção e transformação de bens ou para demonstração da qualidade metrológica em organizações com sistemas de qualidade certificados. Trata-se das medições em processos de fabrico e de controlo de qualidade dos mais diversos produtos e serviços. Baseia-se numa cadeia de hierarquizada de padrões existentes em laboratórios e empresas, padrões estes rastreáveis a padrões primários (internacionais ou nacionais)

*As três
categorias da
Metrologia*

METROLOGIA
LEGAL

6 - Metrologia legal

6.1 - Generalidades sobre a Metrologia Legal

Actua junto de todos os agentes económicos e do público em geral fazendo cumprir legislação aplicável aos mais diversos tipos de instrumentos de medição que interferem nos circuitos comerciais, na saúde e na segurança dos cidadãos.

São exemplo de aplicação, os taxímetros, as balanças para fins comerciais, os esfigmomanómetros, os alcoolímetros, os cinemómetros radar, os “metros” dos retalhistas, os contadores de combustível e de energia, etc.

O controlo metrológico nacional está legislado através do Decreto-Lei 291/90, com regulamentação na portaria 962/90 e muitas outras portarias que tratam de IM específicos.

6.2 - Regulamentação do controlo metrológico

6.2.1 - Objectivos

Estabelecimento de condições de concorrência a nível comunitário no domínio da Metrologia.

Eliminação de barreiras de natureza técnica.

Harmonização da legislação nacional com as Directivas Comunitárias.

Criação de condições para os fabricantes nacionais de instrumentos de medição terem competitividade a nível europeu (atribuição da marca CE de aprovação de modelo e de primeira verificação).

6.2.2 . Domínio

IM envolvidos em operações comerciais, fiscais ou salariais, ou utilizados nos domínios da segurança, da saúde ou da economia de energia, bem como das quantidades dos produtos pré-embalados e, ainda, dos bancos de ensaio e de mais meios de medição utilizados no próprio controlo metrológico.

6.2.3 - Operações

O sistema de controlo metrológico compreende uma ou mais das seguintes operações:

*As três
categorias da
Metrologia*

METROLOGIA
LEGAL

- a) aprovação de modelo
- b) primeira verificação
- c) verificação periódica
- d) verificação extraordinária

A **aprovação de modelo** atesta a conformidade de um IM ou de um dispositivo complementar com as especificações aplicáveis à sua categoria. A validade é de 10 anos, renovável. A aprovação pode ser feita com restrições:

- a) limitação do prazo de validade
- b) limitação do número de IM fabricados
- c) notificação dos locais de instalação
- d) limitação da utilização

Se houver modificações em modelos aprovados é necessária aprovação complementar

A aprovação de modelo é revogada quando:

- a) não conformidade dos IM com o modelo aprovado
- b) defeitos de ordem geral encontrados

A primeira verificação consiste num conjunto de operações destinadas a constatar a conformidade da qualidade metrológica dos IM, novos ou reparados, com os respectivos modelos aprovados. É requerida, para instrumentos novos, pelo fabricante ou importador e pelo utilizador para os instrumentos reparados.

A marca de primeira verificação é aposta de modo a garantir a inviolabilidade do IM.

*As três
categorias da
Metrologia*

METROLOGIA
LEGAL

A verificação periódica é o conjunto de operações destinadas a constatar se os instrumentos de medição mantêm a qualidade metrológica dentro das tolerâncias admissíveis.

A marca de verificação periódica é aposta nos IM que estejam de acordo com o modelo.

Há dispensa de verificação periódica até ao fim do ano seguinte ao da primeira verificação, ou de anterior verificação periódica.

A verificação extraordinária é o conjunto de operações destinadas a verificar se o instrumento de medição permanece nas condições regulamentares.

Os IM podem ser objecto de uma verificação extraordinária a requerimento de qualquer interessado ou de autoridade oficial.

7 – Directiva dos Instrumentos de Medição (MID)

Esta directiva europeia foi transposta para o quadro legal português pelo Decreto-Lei n.º 192/2006, de 26 de Setembro

(Transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva nº 2004/22/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 31 de Março, relativa aos instrumentos de medição)

Resumo do DL 192/2006:

O controlo metrológico é uma disciplina regulamentada pelo Estado destinada a promover a defesa do consumidor e a proporcionar à sociedade, em geral, e aos cidadãos, em particular, a garantia do rigor das medições efectuadas com os instrumentos de medição.

É o que acontece, em Portugal, com 39 diferentes categorias de instrumentos de medição regulamentadas, além dos produtos pré-embalados e garrafas recipiente-medida.

Esses instrumentos de medição são utilizados, em regra, nas transacções comerciais, na segurança, em operações fiscais ou salariais, na saúde, na economia de energia, bem como na protecção do ambiente.

Esta disciplina regulamentar, em cujo exercício participam cerca de seis centenas de entidades públicas e privadas, incumbe à entidade do Ministério da Economia e da Inovação competente no domínio da metrologia legal e tem como destinatários os fabricantes e importadores de instrumentos de medição, bem como todos os proprietários e utilizadores desses instrumentos, atingindo

valores superiores a 4 milhões de verificações anuais de instrumentos de medição.

O controlo metrológico em Portugal foi actualizado em moldes europeus em 1983 pelo Decreto-Lei n.º 202/83, de 19 de Maio, que revogou um acervo significativo de legislação, alguma vigente desde o século XIX, estabelecendo um conjunto de operações designadas por «aprovação de modelo», «primeira verificação », «verificação periódica» e «verificação extraordinária ».

Posteriormente, em 1990 e até esta data, o controlo metrológico foi objecto de uma completa harmonização com o direito comunitário, operada pelo Decreto-Lei n.º 291/90, de 20 de Setembro, em articulação com os normativos enquadramentos contidos na Directiva n.º 71/316/CEE, do Conselho, de 26 de Julho, e demais directivas específicas que entretanto foram publicadas, cujo âmbito de aplicação regulava apenas a «aprovação de modelo» e a «primeira verificação», denominadas «CEE».

Em 1993, em consequência da política comunitária da nova abordagem, decidida pela resolução do Conselho de 7 de Maio de 1985, foi criado um novo regime para enquadramento do controlo metrológico comunitário. Por este regime foi cometida aos fabricantes a responsabilidade pela declaração de cumprimento dos requisitos a satisfazer pelos instrumentos de medição para colocação no mercado ou em serviço. Este regime foi então aplicado apenas aos instrumentos de pesagem de funcionamento não automático, através da Directiva n.º 90/384/CEE, de 20 de Junho, que foi transposta em Portugal pelo Decreto-Lei n.º 383/93, de 18 de Novembro, que regula os procedimentos de avaliação de conformidade a cumprir até à sua colocação em serviço.

Ao conceito da nova abordagem, baseado na definição de requisitos essenciais, está associada uma maior flexibilidade na avaliação da conformidade dos instrumentos de medição e, sempre que necessário, aos seus subconjuntos,

designadamente pela possibilidade de escolha pelos fabricantes de diferentes procedimentos de rigor equivalente. Este regime veio permitir ainda um mais rápido acompanhamento da evolução tecnológica dos instrumentos de medição, que determina alterações no que respeita às necessidades de avaliação da conformidade.

A União Europeia, ainda na sequência da resolução do Conselho de 7 de Maio de 1985, com o objectivo de evitar constrangimentos ao progresso técnico e remover os entraves ao comércio, entendeu alargar a nova abordagem a outras categorias de instrumentos de medição e apenas para as operações necessárias à colocação no mercado ou em serviço, nomeadamente as operações «exame de tipo» (quando aplicável) e «verificação», equivalentes às designadas na legislação nacional de «aprovação de modelo» e «primeira verificação».

Foi neste ambiente de renovação e adaptação às novas tecnologias no âmbito dos instrumentos de medição que foi publicada a Directiva n.º 2004/22/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 31 de Março, cuja aplicação o presente decreto-lei visa transpor para a ordem jurídica nacional e onde são enquadrados instrumentos de medição, anteriormente abrangidos por directivas específicas que se mostravam, na actualidade, tecnicamente ultrapassadas.

O DL 192/2006 visa apenas os 10 tipos de instrumentos de medição objecto da directiva que ora se transpõe, pelo que se articula com o Decreto-Lei n.º 291/90, de 20 de Setembro, cuja aplicação se mantém integralmente para os demais instrumentos de medição actualmente regulamentados e para as matérias de controlo metrológico pós-colocação em serviço para os 10 tipos agora regulados. Os procedimentos de avaliação adoptados no presente decreto-lei são os exigidos pela Decisão n.º 93/465/CEE, do Conselho, de 22 de Julho, relativa aos módulos referentes às diversas fases dos procedimentos de avaliação da conformidade e às regras de aposição e de utilização da marcação CE, cujo

símbolo constitui, para o consumidor, um indicador credível da garantia de qualidade.

Nos procedimentos da avaliação da conformidade dos instrumentos de medição intervêm organismos notificados, em cuja avaliação são progressivamente utilizadas as metodologias da acreditação no âmbito do Sistema Português da Qualidade (SPQ).

O DL 192/2006 aplica-se, para os domínios de utilização referidos em regulamentação específica, a aprovar por portaria do ministro que tutela a área da economia:

- a) Aos contadores de água fria ou quente;*
- b) Aos contadores de gás e dispositivos de conversão associados;*
- c) Aos contadores de energia eléctrica activa;*
- d) Aos contadores de calor;*
- e) Aos sistemas de medição contínua e dinâmica de quantidades de líquidos com exclusão da água;*
- f) Aos instrumentos de pesagem de funcionamento automático;*
- g) Aos taxímetros;*
- h) Aos recipientes para a comercialização de bebidas;*
- i) Às medidas materializadas de comprimento;*
- j) Aos instrumentos de medições dimensionais;*
- l) Aos analisadores de gases de escape.*

Algumas definições dadas no DL 192/2006

- a) «Colocação no mercado» ou «comercialização» a primeira colocação à disposição na Comunidade, a título oneroso ou gratuito, de um instrumento destinado a um utilizador final;*

- b) «Colocação em serviço» a primeira utilização de um instrumento destinado ao utilizador final, para os fins a que se destina;*
- c) «Controlo metrológico legal» o controlo das funções de medição pretendidas no campo de aplicação de um instrumento de medição, por razões de interesse público, saúde, ordem e segurança públicas, protecção do ambiente, cobrança de impostos e taxas, defesa dos consumidores e lealdade nas transacções comerciais;*
- d) «Fabricante» a pessoa singular ou colectiva responsável pela conformidade do instrumento de medição com as disposições do presente decreto-lei e regulamentos específicos, com vista quer à sua colocação no mercado sob o seu nome quer à sua colocação em serviço para as suas necessidades;*
- e) «Instrumentos de medição», adiante designados «instrumentos», os instrumentos de medição individuais, partes dos instrumentos, os dispositivos complementares, os subconjuntos associados directa ou indirectamente aos instrumentos individuais, bem como os conjuntos de medição associando vários destes elementos;*
- f) «Mandatário» a pessoa singular ou colectiva estabelecida no território da Comunidade que, mediante autorização escrita do fabricante, age em seu nome, relativamente a funções especificadas na aceção e nos termos do presente decreto-lei;*
- g) «Subconjuntos» os dispositivos físicos mencionados como tal na regulamentação específica que funcionam independentemente e constituem instrumentos de medição quando associados a outros subconjuntos ou a instrumentos de medição com os quais são compatíveis.*

8 – Acesso aos diplomas da MID

A Directiva dos Instrumentos de Medição (MID) entrou plenamente em vigor em 15 de Janeiro de 2007.

Com a publicação da última das Portarias, previstas no Decreto-Lei nº 192/2006 www.ipq.pt/backFiles/mid_dl192_2006.pdf

de 26 de Setembro de 2006, ficou concluído o quadro legislativo da MID.

Foram assim publicadas sucessivamente 11 Portarias.

Portarias previstas no Decreto-Lei nº 192/2006, 3/2007, de 2 de Janeiro

Recipientes para a comercialização de bebidas

http://www.ipq.pt/backFiles/portaria_3_2007.pdf

12/2007, de 4 de Janeiro, Medidas materializadas de comprimento

http://www.ipq.pt/backFiles/portaria_12_2007.pdf

18/2007, de 5 de Janeiro, Contadores de energia eléctrica activa

http://www.ipq.pt/backFiles/portaria_18_2007.pdf

19/2007, de 5 de Janeiro, Sistemas de medição contínua e dinâmica de quantidades de líquidos com exclusão de água

http://www.ipq.pt/backFiles/portaria_19_2007.pdf

20/2007, de 5 de Janeiro, Analisadores de gases de escape

http://www.ipq.pt/backFiles/portaria_20_2007.pdf

21/2007, de 5 de Janeiro, Contadores de água fria ou quente

http://www.ipq.pt/backFiles/portaria_21_2007.pdf

22/2007, de 5 de Janeiro, Instrumentos de medições dimensionais

http://www.ipq.pt/backFiles/portaria_22_2007.pdf

33/2007, de 8 de Janeiro, Taxímetros

http://www.ipq.pt/backFiles/portaria_33_2007.pdf

34/2007, de 8 de Janeiro, Contadores de gás e dispositivos de conversão associados

http://www.ipq.pt/backFiles/portaria_34_2007.pdf

57/2007, de 10 de Janeiro, Instrumentos de pesagem de funcionamento automático

http://www.ipq.pt/backFiles/portaria_57_2007.pdf

87/2007, de 15 de Janeiro, Contadores de calor

http://www.ipq.pt/backFiles/portaria_87_2007.pdf

Para melhor esclarecimento do contexto e da aplicação da MID, consultar

<http://www.ipq.pt/custompage.aspx?modid=6&pagID=2&catID=81>

no sítio web do IPQ.

Fonte:

<http://www.ipq.pt/custompage.aspx?pagid=3550>

ANEXO 4

(A Metrologia em Laboratório Fabril)



INTRODUÇÃO ÀS INCERTEZAS

ÍNDICE

Título	Página
Notas introdutórias	3
Introdução	4
O erro da medição	7
Conceitos associados ao erro	10
Expressão completa do resultado de uma medição	14
A definição da incerteza	16
A evolução – do erro à incerteza	18
Publicações sobre incertezas	20
Os fundamentos da incerteza	22
Fontes de incerteza	23
Os 10 mandamentos das incertezas	24
Conceito gráfico de erro e incerteza	25
Incertezas tipo A e incertezas tipo B	26
Modelo Matemático	27
Determinação da incerteza tipo A	30
Determinação da incerteza tipo B	33
Incerteza de padrões de referência (tipo B normal)	33
Conhecidos os limites de uma grandeza	37
Distribuição rectangular	37
Distribuição triangular	39
Indicadores do resultado de uma medição	40
Cálculo da incerteza-padrão da estimativa da Grandeza de Saída	41
Lei da propagação – expressão genérica	42
Cálculo dos coeficientes de sensibilidade	46
Balanço da Incerteza	47
Incerteza expandida da medição	48
Cálculo dos graus de liberdade efectivos	49
Factores de expansão k para graus de liberdade efectivos até 70	51
Expressão da incerteza nos certificados de calibração	52
Procedimento sequencial	55
FORMULÁRIO	57
Bibliografia	58

Notas introdutórias

Nota: o texto tem transcrições de documentos de referência, o que é feito dentro de uma “caixa de traço duplo”.

Exemplo:

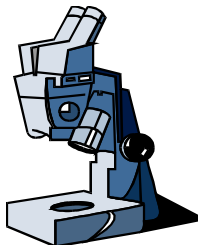
Exemplo de transcrição de um documento
--

As referências bibliográficas são apresentadas entre parênteses rectos, [].

As equações apresentadas são numeradas entre parêntesis curvos do tipo (1).

Quando entendido haver interesse na especial atenção a um determinado termo ou expressão, será indicado entre parêntesis o código correspondente dado no VIM [1], como por exemplo, **Metrologia** [1](2.2).

Introdução



*Descartes
de volta!*

René Descartes, se hoje fosse vivo, não estaria por certo alheio à problemática do cálculo das incertezas. Provavelmente estaria a estudá-las muito para além da simples calibração, mas também olharia para este recanto da ciência, a Metrologia, e daria algumas importantes achegas para minimizar esta dúvida – as nossas medições, são boas?

Numa eventual conferência acerca deste importante tema, talvez nos dissesse que, dado que as nossas medições estão estruturadas no erro, têm sempre um importante componente desse mesmo erro, o qual não temos qualquer possibilidade de conhecer exactamente. Ou seja O ERRO NÃO É EXACTO!

Diria, por certo, que se é impossível conhecer exactamente e, consequentemente, quantificar o erro que cometemos, já poderá ser possível minimizar essa margem de dúvida.

Mas, de conceito em conceito, de contradição em contradição, Descartes iria combinando dúvidas sobre dúvidas e acabaria por nos dizer que sempre houve e continuará a haver uma única certeza:

*A Dúvida
Metódica*

Penso, logo existo

Esta famosa afirmação de Descartes tem ainda hoje grande oportunidade, embora, tal como Descartes o fez, se possam estruturar muitas verdades utilizando o método adequado.

Mas o cerne da grande dúvida, a base do dilema existencial por Descartes vivido, nós, os metrologistas, também o vivemos.

É que, desde os mais convictos até aos mais cépticos das virtualidades da Metrologia, a Ciência da medição e suas aplicações [1](2.2), não podemos deixar de nos associar à dúvida de Descartes e compreendê-lo um pouco melhor quando nos embrenhamos nas causas e consequências do acto de medir.

Descartes duvidou de tudo, chegando a uma única certeza - o facto de pensar tornava evidente a sua existência. Quererá isto dizer que ficou por aqui e tudo o mais do seu pensamento ficou na bruma da dúvida? Não. A partir daquela certeza inequívoca, Descartes alicerçou toda uma consciência de *verdades* e evoluiu em muitos conceitos que propôs e que foram aceites durante séculos.

António Damásio, um eminente cientista português radicado nos Estados Unidos, teria detectado um erro de Descartes e, sobre o tema, publicou um livro - *O Erro de Descartes* [2] um autêntico sucesso editorial. Nesse livro, Damásio evidencia que a **emoção** é muito importante na formação da personalidade e na capacidade de decisão, não sendo a **razão** a base fundamental da estrutura mental humana.

Mas a que vem toda esta introdução e que tem isto a ver com a Metrologia?

É que, tal como Descartes, também nós, metrologista, nos defrontamos com dúvidas permanentes.

*O Erro de
Descartes*

As dúvidas do metrologista:

- o **padrão de referência** [1](5.6) ainda manterá as características metrológicas?
- o **procedimento de medição** [1] (2.6), terá sido utilizado correctamente?
- de que modo as **grandezas de influência** [1] (2.52) afectam o resultado?
- as grandezas de influência ter-se-ão mantido?
- a leitura terá sido bem feita?
- ... teremos mesmo medido?

É evidente que devemos evitar que a dúvida se torne doentia. Temos que reagir à dúvida sistemática e, também nós, enveredarmos pela via da **dúvida metódica**. Para tal, devemos partir de uma verdade segura, uma das tais verdades que ninguém possa pôr em causa.

Conjugando a dúvida metódica com o erro - mesmo Descartes não esteve isento dele - propõe-se então, a seguinte verdade inequívoca:

MEDIR É ERRAR

Eis a nossa verdade-suporte primária!

Mas há que evoluir na nossa procura de alicerces para suportar alguma confiança na nossa actividade metrológica e, para tal, utilizaremos a descoberta do erro de Descartes.

Quem, como nós, tem uma actividade relacionada com o cálculo das incertezas, facilmente verifica que de facto não é possível encarar esta problemática sem alguma (ou muita) **emoção**. Inevitavelmente que teremos que utilizar fortemente a nossa **razão**, mas vamos por certo emocionar-nos quando se no depararem dificuldades, ou mesmo quando tivermos que encarar alguém a dissecar o nosso método de cálculo e eventualmente detectar um erro.

Esperemos que esse erro, já que é inevitável, possa ser corrigido e o remanescente (a parte que nunca pode ser totalmente corrigida) possa ser minimizado.

De qualquer modo, encaremos o lado positivo de tal erro:

***um erro cria sempre uma
oportunidade de melhoria!***

Voltando à afirmação de Damásio acerca do tal erro, diremos que ela veio acrescentar mais razões para a nossa admiração pelo grande cientista e pensador.

De facto, tal como Descartes, nós erramos e, também como ele, nós duvidamos!

O erro da medição [1](2.16)

Conhecido que é um erro, é possível considerá-lo para avaliar um valor mais exacto da mensuranda.

Nalgumas situações particulares, conhecendo-se o valor do erro e se ele for notavelmente pequeno relativamente à mensuranda, poderemos desprezá-lo.

No entanto, para ser possível proceder à **correção** [1](2.53) é necessário que o **erro sistemático** [1](2.17) seja conhecido e devidamente quantificável.

Na metrologia acontece frequentemente o **erro sistemático**, o tal que pode ser objecto de **correção**. Em tais casos é possível compensar o erro com um valor previamente definido e assim levar o valor errado para próximo do **valor convencional de uma grandeza** [1](2.12).

CORRECÇÃO [1](2.53)

Compensação num valor medido de um efeito sistemático conhecido.

NOTA 1 Ver no Guia ISO/IEC 98-3:2008, 3.2.3 a explicação do conceito de 'efeito sistemático'.

NOTA 2 A compensação pode assumir diferentes formas, tais como, a soma de um valor ou a multiplicação por um factor, ou obtida numa tabela.

Nota: a correcção (somativa) tem o valor simétrico ao do erro sistemático.

Exemplo de correcção somativa de um resultado:**Exemplo:**

Seja 54,35 mm o resultado bruto de uma medição (ver nota 3 de 2.9 [1]), sendo conhecido o erro sistemático da medição, o qual é $-0,02$ mm.

Então, o valor da correcção é simétrico ao erro sistemático, ou seja, é $-(-0,02 \text{ mm}) = +0,02 \text{ mm}$:

Resultado corrigido da medição = $54,35 \text{ mm} + 0,02 \text{ mm} = 54,37 \text{ mm}$

Mas, se o erro sistemático é frequente, o erro aleatório (de quantificação exacta impossível) está sempre presente. É a sua estimativa que nos obriga aos estudos acerca da incerteza, não a quantificação “exacta”, mas a determinação de uma probabilidade de acontecimento. Estamos a introduzir a noção de que a incerteza não é um erro (adiante será detalhada esta diferenciação).

O Erro é invariavelmente associado ao Homem - *Errar é próprio do Homem*.

O que distingue uma pessoa criativa de outra menos criativa, é que aquela relativamente a esta tem a coragem de se sujeitar à probabilidade de erro no seu trabalho, mas mesmo assim arrisca novas ideias, novos conceitos, novas soluções. Uma pessoa que tenha a obsessão de não querer errar, não se atreve a mudar seja o que for, nem propõe qualquer mudança ou qualquer tipo de solução. Mas também, de tal cabeça nada sai de inovador!

Mas, voltando ao facto de o erro ser próprio do homem, indevidamente tal associação é feita. De facto, erra tudo o que intervém numa medição, ou melhor, as fontes de erro têm inúmeras causas, infelizmente nem todas elas quantificáveis.

Todas as origens de erro se revelam através das pessoas e meios envolvidos:

- Operador
- Padrão de referência
- Meios utilizados (meios de transferência, padrão, etc.)
- **instrumento de medição** [1](3.1)

*Erros
materiais*

Há sempre outras influências (ambientais e devidas ao método) que se associam a cada uma das principais origens erro referido, podendo ser:

- Resultantes do **método de medição** [1](2.5).
- Devidas às condições envolventes, (p.e., o ambiente)

*Erros devidos
ao método e
causas
ambientais*

Da combinação das múltiplas origens materiais e influências de método e ambientais resulta sempre um componente de erro de valor desconhecido e logo não susceptível de correcção.

Podemos resumir as fontes de incerteza como sendo:

- Objecto da medição, ou Equipamento a calibrar
- Instrumento(s) de medição, ou Padrão usado
- Método de medição utilizado
- Operador
- Condições ambientais

(Paulo Cabral [10])

Conceitos Associados ao Erro

O conceito de erro encontrado no VIM obriga a reflectir em vários ângulos pelos quais podemos encarar o erro.

A evolução no tratamento da incerteza de medição, de uma abordagem de “erro” (por vezes chamada de “tradicional” ou de “valor verdadeiro”) para uma abordagem de “incerteza”, conduziu a reconsiderar alguns dos conceitos que figuravam na segunda edição do VIM. O objectivo das medições na abordagem de “erro” era o de determinar uma estimativa do valor verdadeiro a mais próxima possível desse valor verdadeiro único. O desvio em relação ao valor verdadeiro seria devido a erros sistemáticos e aleatórios. Estes dois tipos de erros, que se admitem distinguíveis, têm de ser tratados diferentemente. Não se pode estabelecer nenhuma regra que indique o modo de os combinar, para se obter o erro total, que caracterize o resultado de uma dada medição, sendo este em geral uma estimativa. Somente é possível estimar um limite superior do valor absoluto do erro total, por vezes abusivamente denominado de “incerteza”.

VIM [1] Introdução, 0.1 Geral

Erro da
medição

ERRO DE MEDIÇÃO [1](2.16)

Diferença entre o valor medido de uma grandeza e um valor de referência

NOTA 1 O conceito de erro tanto pode ser usado:

- a) Quando há um valor de referência único, o que ocorre se uma calibração é efectuada por meio de um padrão de medição com incerteza de medição desprezável, ou se é dado um valor convencional, caso em que o erro é conhecido, ou
- b) Se a mensuranda é supostamente representada por um único valor verdadeiro ou um conjunto de valores verdadeiros de amplitude desprezável, caso em que o erro é desconhecido.

NOTA 2 O erro de medição não deve confundir-se com um erro de produção ou um erro humano.

Erro
Relativo

ERRO RELATIVO

Quociente do erro da medição pelo valor verdadeiro da mensuranda.

NOTA: Uma vez que um valor verdadeiro não pode ser determinado, na prática é usado um valor convencionalmente verdadeiro.

Nota do autor: esta definição não existe na edição 3 do VIM, pelo que se recorre à definição da edição 2 do VIM

O erro relativo representa-se, normalmente, por um número adimensional. É, no entanto, prática usual a representação com referência a um determinado número:

cem (percentagem), mil (permilagem) ou milhão (parte por milhão). Também se faz relativamente ao bilião, mas neste caso é aplicável o bilião americano que é 10^9 .

Exemplos:

Exemplo 1 - Para um valor convencionalmente verdadeiro de 1000,00 V o valor lido foi de 999,90 V.

Erro relativo = $(999,90 \text{ V} - 1000,00 \text{ V}) / 1000,00 \text{ V} = -1,0 \times 10^{-4} = -0,0001$

ou Erro relativo = $-1,0 \times 10^{-4} \times 100 = -0,01\%$

ou Erro relativo = $-1,0 \times 10^{-4} \times 1\,000\,000 = -100 \text{ ppm}$

Exemplo 2 – Para um valor convencionalmente verdadeiro de 8,000 000 kg o valor da leitura foi de 8,000 0001 kg

Erro relativo = $(8,000\,0001 \text{ kg} - 8,000\,000 \text{ kg}) / 8,000\,000 \text{ kg} = 1,25 \times 10^{-7}$

ou Erro relativo = $1,25 \times 10^{-7} \times 10^9 = 125 \text{ ppb}$

Exemplos 3:

45% = 0,45

45 ppm = 0,000 045

45 ppb = 0,000 000 045 (notar que o bilião utilizado geralmente no domínio da química é o bilião americano, que corresponde a 10^9)

ERRO SISTEMÁTICO [1] (2.17)

Componente do erro de medição que em medições repetidas permanece constante ou varia de uma forma previsível.

NOTA 1 O valor de referência para um erro sistemático é um valor verdadeiro, ou um valor medido de um padrão de incerteza de medição desprezável, ou um valor convencional.

NOTA 2 O erro sistemático e as suas causas podem ser conhecidos ou desconhecidos. Deve aplicar-se uma correcção para compensar um erro sistemático conhecido.

NOTA 3 O erro sistemático é igual ao erro de medição menos o erro aleatório. (Ver figura 1)

ERRO ALEATÓRIO [1] (2.19)

Componente do erro de medição que em medições repetidas varia de forma imprevisível.

NOTA 1 O valor de referência para um erro aleatório é a média que resultaria de um número infinito de medições repetidas da mesma mensuranda.

NOTA 2 Os erros aleatórios de um conjunto de medições repetidas formam uma distribuição que pode ser sumariada pela esperança matemática, geralmente assumida como nula, e pela sua variância.

NOTA 3 O erro aleatório é igual ao erro de medição menos o erro sistemático. (Ver figura 1)

*Erros
sistemáticos
e aleatórios*

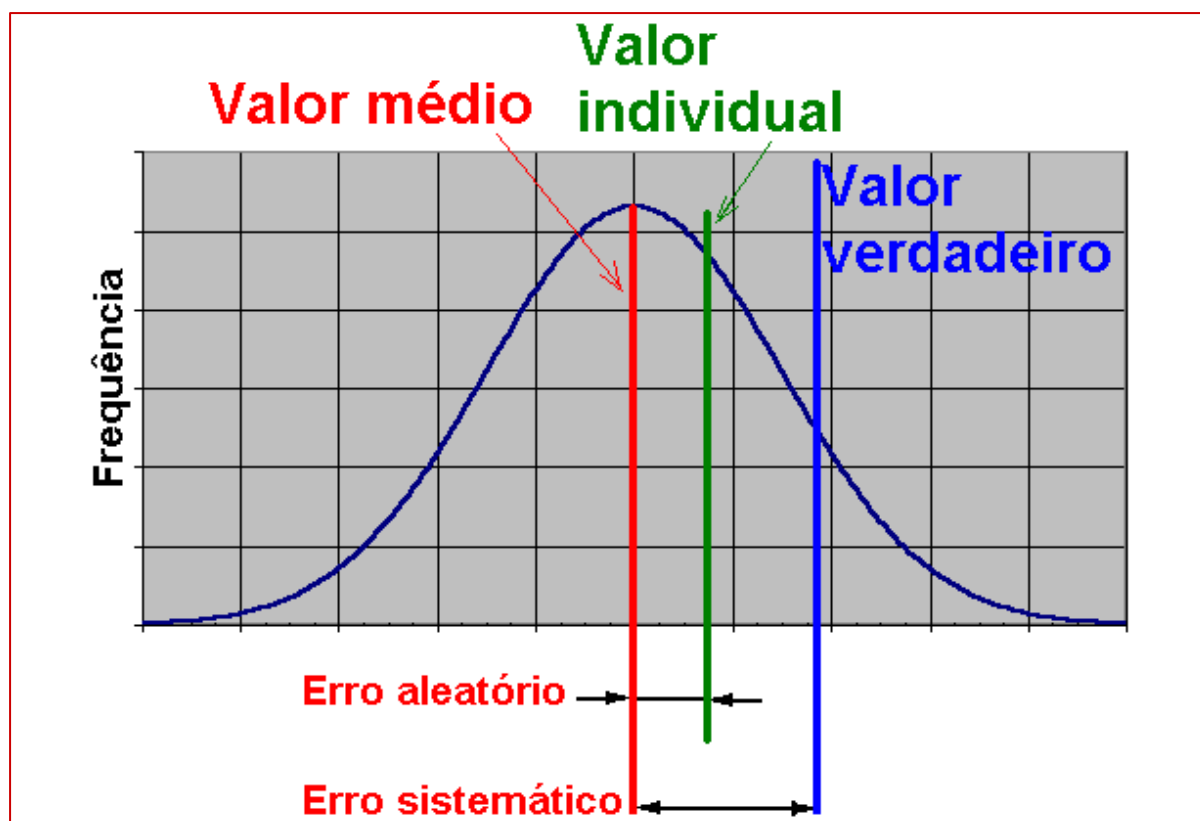


Figura 1 – Representação do significado dos conceitos de erro **sistemático** e erro **aleatório**

Para consolidar os conceitos tratados, vejamos um novo exemplo:

Exemplo:

Seja o resultado de uma medição isolada igual a 54,369 mm.

Sabemos que a média resultante de um grande número de medições da mesma mensuranda foi de 54,367 mm.

É conhecido o valor convencionalmente verdadeiro dessa mensuranda, que neste caso é 54,370 mm.

Então:

Valor do resultado da medição (resultado bruto) = 54,369 mm

Valor convencionalmente verdadeiro da mensuranda = 54,370 mm

Erro de medição (ou erro absoluto da medição) = $-0,001$ mm (valor negativo)

Valor absoluto do erro = $|-0,001|$ mm = 0,001 mm

Erro relativo = $-0,001$ mm / 54,370 mm = $-0,00002$ ou 2×10^{-5} (adimensional)

Erro relativo (em percentagem) = $-0,001$ mm / 54,37 mm $\times 100 = -0,002\%$

Erro relativo (em partes por milhão – ppm) = $-0,001$ mm / 54,37 mm $\times 10^6 = -18$ ppm (o cálculo matemático dava 18 ppm, mas o resultado neste caso deve ser apresentado com um algarismo significativo).

Erro sistemático = 54,367 – 54,370 = $-0,003$ mm

Erro aleatório = 54,369 – 54,367 = $+0,002$ mm

Erro aleatório = Erro – Erro Sistemático = $-0,001 - (-0,003) = +0,002$ mm

Correcção = – Erro sistemático = $-(-0,003)$ mm = $+0,003$ mm

Resultado corrigido = Resultado Bruto + Correcção = 54,369 + 0,003 = 54,372 mm

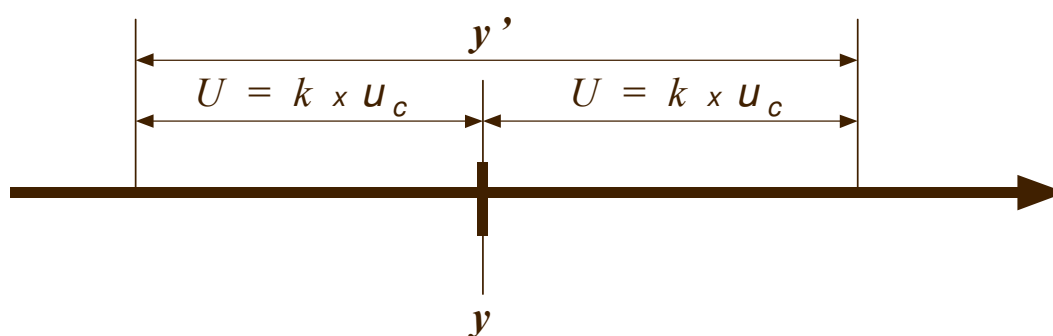
Nota: os erros relativos, tal como o próprio erro, são valores algébricos (com sinal positivo ou negativo).

Expressão completa do resultado de uma medição

O resultado de uma medição (y'), na sua expressão completa, pode ser representado pela expressão seguinte [3]

$$y' = y \pm U \quad (1)$$

Expressão completa do resultado da medição



Legenda:

U – incerteza expandida

k – factor de expansão

u_c – incerteza padrão combinada

y – resultado bruto da medição

Figura 2 – Expressão completa do resultado de uma medição, y'

Torna-se, assim, evidente que o resultado (completo) de uma medição exprime-se não como algo de pontual, mas sim como um intervalo, o qual será tanto menor quanto mais qualidade técnica tiver a medição.

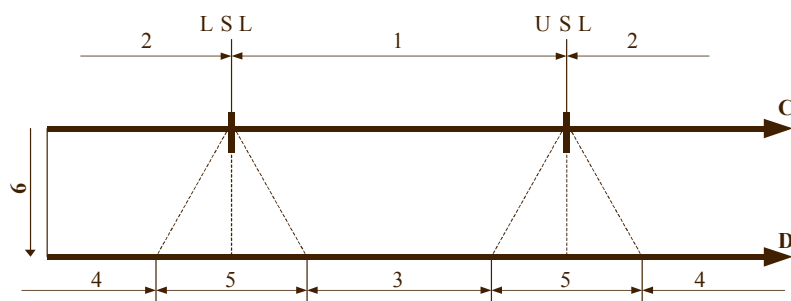
Daqui se inicia a percepção de que o resultado de uma medição é um valor probabilístico – pode ser conhecido com uma probabilidade muito próxima do 1, mas nunca igual a 1.

A ISO 14253-1:1998 [3] estabelece regras para provar a conformidade ou não conformidade, as quais funcionam como alternativa para a ausência de regras entre o fornecedor e o cliente. Estas regras tanto são aplicáveis a peças fabricadas como a instrumentos de medição.

As regras recomendadas pela norma ISO são geralmente aplicáveis a especificações consideradas como importantes para o funcionamento adequado de peças ou instrumentos. Quando os requisitos puderem ser considerados de menor importância, outras regras de menor nível de exigência podem ser estabelecidas entre as partes envolvidas.

As siglas LSL (lower specification limit) e USL (upper specification limit) são utilizadas neste documento para indicar o menor limite de especificação e máximo limite de especificação, respectivamente. Na figura 3 é feito um resumo de todas as designações associadas a estes conceitos de conformidade e não conformidade de peças e equipamentos de medição, bem como o efeito de propagação de incertezas.

Serve isto para reforçar o quão é importante saber, ou ter uma estimativa credível, qual é a incerteza da medição.



Legenda

- | | |
|---------------------------|----------------------------------|
| C – fase de concepção | 3 – zona de conformidade |
| D – fase de verificação | 4 – zona de não conformidade |
| 1 – zona de especificação | 5 – campo de incerteza |
| 2 – Fora de especificação | 6 – incremento da incerteza, U |

Figura 3 – O efeito da propagação de incertezas (incremento) reduz a zona de conformidade [3]

A definição da incerteza

Voltando a Descartes e ao erro denunciado por Damásio, associemos a dúvida pelo próprio Descartes proclamada. Fica-nos a convicção que se o erro é importante, esta importância é agravada pela dúvida que lhe está associada.

Desta dualidade errática, podemos considerar que nasce o conceito de incerteza. Assim, passando por cima da definição actualmente em vigor para a incerteza, façamos uma definição própria:

Definição (livre)

Incerteza é o estabelecimento de fronteiras para um erro de valor desconhecido

Se este estabelecimento de fronteiras fosse deixado ao critério de cada um, permitir-se-ia que se atribuísem valores díspares, o que levaria necessariamente a discrepâncias notáveis para uma mesma medição.

Definição (dada pelo VIM)

Incerteza de medição [1] (2.26)

measurement uncertainty / incertitude de mesure

Parâmetro não-negativo que caracteriza a dispersão dos valores da grandeza que são atribuídos à mensuranda a partir das informações usadas

NOTA 1 A incerteza de medição inclui componentes provenientes de efeitos sistemáticos, tais como componentes associadas a correcções e valores atribuídos a padrões, bem como a incerteza definicional. Por vezes, os efeitos sistemáticos conhecidos não são corrigidos mas incorporados como componentes da incerteza.

NOTA 2 O parâmetro pode ser, por exemplo, um desvio-padrão, denominado incerteza-padrão (ou um múltiplo dele), ou a metade da largura de um intervalo, para um nível de confiança determinado.

NOTA 3 A incerteza de medição compreende em geral muitas componentes. Algumas destas podem ser estimadas por uma avaliação de tipo A da incerteza de medição a partir da distribuição estatística dos valores da grandeza em séries de medições e podem ser caracterizadas por desvios-padrão. Outras, que podem ser estimadas por uma avaliação de tipo B da incerteza de medição, podem também ser caracterizadas por desvios-padrão, avaliados através de funções de densidade de probabilidade baseadas na experiência ou outras informações.

NOTA 4 Em geral, para um dado conjunto de informações, subentende-se que a incerteza de medição está associada a um determinado valor atribuído à mensuranda. Uma modificação deste valor implica uma modificação de incerteza associada.

A evolução – do erro à incerteza

Durante muitos anos o tratamento de incertezas esteve entregue à aplicação da teoria dos erros, mas a não uniformização de critérios foi sempre uma constante.

Alguns critérios tradicionais para definição de intervalos de confiança:

amplitude do erro

σ , 2σ , 3σ , ... (σ é o desvio padrão)

$k\sigma + \delta$ (δ é um desvio)

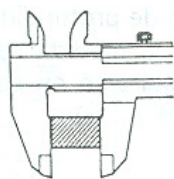
*Intervalos
de
confiança
(tradicional)*

Mas os resultados de cálculo de incertezas/erros, eram tipicamente obtidos a partir de cálculos em condições de repetibilidade (eventualmente de reprodutibilidade), mas somente dos valores medidos, ignorando outros componentes de incerteza, como por exemplo, o padrão utilizado, as condições ambientais ou a resolução.

Isto permitia obter incertezas nulas quando, por exemplo, a resolução era de valor tal que as medições não permitiam constatar qualquer variação dos valores medidos.

Exemplo:

Seja a medição de um bloco padrão de 100 mm, grau 0, com recurso a um paquímetro de nónio com resolução de 0,05 mm.



Ora, o bloco padrão é uma medida materializada de um comprimento (a mais exacta que existe). Os desvios admissíveis para esta dimensão são menores que um micrometro!

Se o operador fosse pessoa minimamente experimentada na utilização destes instrumentos, mesmo fazendo 50 medições repetidas, o resultado seria sempre $L=100,00$ mm!

O tratamento de dispersão com recurso ao desvio padrão seria zero e seríamos levados (ingenuamente) a dizer que a incerteza da medição era zero!

Absolutamente errado.

Basta a dúvida da própria resolução para que a incerteza seja de ordem de grandeza próxima dessa resolução, ou seja, cerca de \pm meia resolução! Na realidade, vamos ver adiante, a incerteza devida à resolução, com 95% de probabilidade, é de cerca de $\pm 0,6$ do valor da resolução.

Publicações de referência sobre incertezas

A comunidade metrológica internacional tem feito publicar vários documentos, particularmente desde 1990, sendo os principais, o resultado de aturados trabalhos que decorreram durante a década de 1980.

Documento histórico

Guidelines for the Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration - Documento nº 19/1990 de WECC (Western European Calibration Cooperation). Este documento é o suporte para o documento EA-4/02 (antiga EAL-R2).

GUM

Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)
BIPM/IEC/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML,
publicação de 1993, revisão em 1995

JCGM 100:2008 - GUM 1995 with minor corrections
Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement
Document produced by Working Group 1 of the Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG 1).
Copyright of this document is shared jointly by the JCGM member organizations (BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML). [4]

O primeiro destes dois documentos (documento WECC 19/1990) foi revisto pelo organismo europeu para acreditação, com primeira publicação 1997, documento denominado EAL-R2, que agora tem nova designação: EA-4/02. Com esta última designação foi de novo publicado em Dezembro de 1999.

EA-4/02
Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration
EA –European co-operation for Accreditation ¹ (Cooperação Europeia para a Acreditação) – Dezembro de 1999 [5]

*Guias
(calibrações)*

¹ Em Novembro de 1997, Viena, foi feita a integração das actividades da EAL (European co-operation for Accreditation of Laboratories) na EA (European co-operation for Accreditation).

Em 1998, foi publicada a versão portuguesa do documento EAL-R2, com reedição em Dezembro de 2005 [6]

Guia para a expressão da incerteza de medição nos Laboratórios de Calibração

IPQ – Dezembro de 2005

Mais dirigido para os ensaios foi, pela EA, publicado um outro documento.

EA 4/16 (rev00)

Guidelines on the expression of uncertainty in quantitative testing

EA –European co-operation for Accreditation ¹ (Cooperação Europeia para a Acreditação) – Dezembro de 2003. [7]

Guia
(ensaios)

Os guias da EA podem ser obtidos pela INTERNET, de modo perfeitamente legal, como indicado em «Bibliografia», no fim deste texto.

Para além dos guias aqui referidos, há uma imensa lista de publicações tratando o tema de incertezas nas medições (ver Technical Reports da EUROLAB, de 2002, 2006 e 2007)

É recomendável a leitura e consulta de uma publicação didáctica editada pelo ISEP e IEP de autoria de Paulo Cabral, onde constam revisões de todos os conceitos necessários para aplicação do método GUM de estimativa de incertezas [10].

Como já foi referido, a palavra incerteza significa dúvida e, na metrologia, incerteza da medição significa dúvida acerca da validade do resultado da medição.

O objectivo de uma medição é determinar o valor da mensuranda, ou seja, o valor da grandeza que se pretende medir. Mas a qualidade da medição é função de uma especificação adequada da mensuranda e de um correcto procedimento de medição.

O resultado de uma medição é uma estimativa (ou aproximação) do valor da mensuranda e só poderá considerar-se completo quando acompanhado da indicação de uma incerteza²

Na prática, para definição de uma mensuranda é importante conhecer a exactidão possível ou requerida para a medição.

Se dissermos que um padrão de topos de um metro foi medido e que é espectável um erro admissível de $\pm 1 \mu\text{m}$, será necessário especificar que o resultado da medição foi obtido com uma temperatura de $20,00^\circ\text{C}$ e uma pressão atmosférica de $1,01325 \text{ bar}$, além das condições em que ele estava apoiado. Se, no entanto, o erro associado à exactidão for de $\pm 1 \text{ mm}$, aquelas especificações não são importantes.

Calculemos a variação de comprimento que o padrão de topos (de aço) sofre quando a temperatura varia de $0,1^\circ\text{C}$, considerando $\alpha = 11 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$:

$$\Delta L = L \times \alpha \times \Delta t$$

$$\Delta L = 1 \text{ m} \times 11 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \times 0,1 \text{ K} = 1,1 \times 10^{-6} \text{ m} \text{ (} 1,1 \mu\text{m) }$$

ou seja, um valor maior do que o erro máximo requerido!

A incerteza é o parâmetro que qualifica uma medição

² Como é evidente, há medições que não requerem a indicação de incertezas. Seria ridículo que ao comprar 250 g de fiambre exigíssemos o valor da incerteza!

Fontes de incerteza

[5] – Apêndice C

Fontes de incerteza de medição

- 1** – O resultado de uma medição (após correção) pode estar muito próximo ao valor da mensuranda e, portanto, com erro insignificante. Mesmo assim pode ter uma incerteza global grande. A incerteza do resultado de uma medição não deve ser confundida com o erro desconhecido.

O resultado de uma medição reflecte as lacunas do conhecimento completo do valor da mensuranda. O conhecimento completo exige uma infinita quantidade de informação. Os fenómenos que contribuem para a incerteza e, portanto, para o facto de que o resultado da medição não pode ser caracterizado por um único valor, são chamados fontes de incerteza.

Na prática, há muitas fontes de incerteza de medição possíveis, incluindo:

- a) definição incompleta da mensuranda;
 - b) realização imperfeita da definição da mensuranda;
 - c) amostragem não representativa – a amostra medida pode não representar a mensuranda definida;
 - d) influência das condições ambientais mal conhecida ou deficientemente medida;
 - e) erros de leitura dos instrumentos analógicos;
 - f) resolução finita dos instrumentos ou limites de mobilidade;
 - g) valores inexactos dos padrões e dos materiais de referência;
 - h) valores inexactos das constantes ou outros parâmetros obtidos da bibliografia e utilizados no algoritmo matemático;
 - i) aproximações ou hipóteses contidas no método e procedimento de medição;
 - j) variações nas observações repetidas da mensuranda, aparentemente, nas mesmas condições.
- 2** - Estas fontes não são necessariamente independentes. Algumas das fontes a) a i) podem contribuir para j).

EA-4/02

*Fontes de
incerteza*

Os 10 mandamentos das incertezas

Como orientação (transcendental) para aquele que se inicia no cálculo das incertezas, é interessante conhecer os 10 mandamentos da estimativa de incertezas [9].

Os 10 mandamentos para estimativa da incerteza (tradução livre)

(Jörg W. Müller, 1993)

1. Um resultado numérico de uma medição que não tenha informação acerca da exactidão, não tem qualquer utilidade
2. A estimativa da incerteza é uma actividade do experimentador que deve ser sempre feita, mesmo que isso exija um esforço adicional. A responsabilidade da sua determinação não deve ser delegada.
3. Evitar usar o conceito de incerteza associado ao “limite máximo”, só porque é de fácil avaliação. Pensar que poderá vir a ser feito uso daquele valor.
4. Estimar de modo realista as variâncias e covariâncias. Algumas estimativas poderão ser feitas de modo grosseiramente aproximado.
5. Aplicar a lei geral de propagação de incertezas para obter a incerteza da grandeza que interessa (incluindo as covariâncias). Isto é somente uma aproximação de primeira ordem.
6. Chegar a uma correcta ordem de grandeza das variâncias e covariâncias pode não ser trivial; requer um conhecimento teórico e prático profundo do método experimental em causa.
7. Descrever com clareza tudo o que se fez (fontes de incerteza, método de estimativa e respectiva combinação, etc.); assim, posteriormente, os dados poderão vir a ser úteis ao “próximo”.
8. Retenha que não é exigido um valor exacto de incerteza (tal não é possível). Pretende-se tão-somente uma estimativa, mais ou menos grosseira, mas fiável. Deve-se ser generoso quando se indicam valores arredondados.
9. Só porque são simples, não devemos acreditar em distribuições universalmente aplicáveis. A distribuição normal é uma forma limite e a distribuição rectangular geralmente é escolhida em desespero de causa. Uma lei específica é tão boa quanto as condições para a sua aplicação são realistas.
10. As discrepâncias significativas têm geralmente uma origem bem definida. Ocasionalmente, isto poderá levar a uma interessante descoberta.

*Os 10
mandamentos
da estimativa
da incerteza*

Conceito gráfico de erro e incerteza

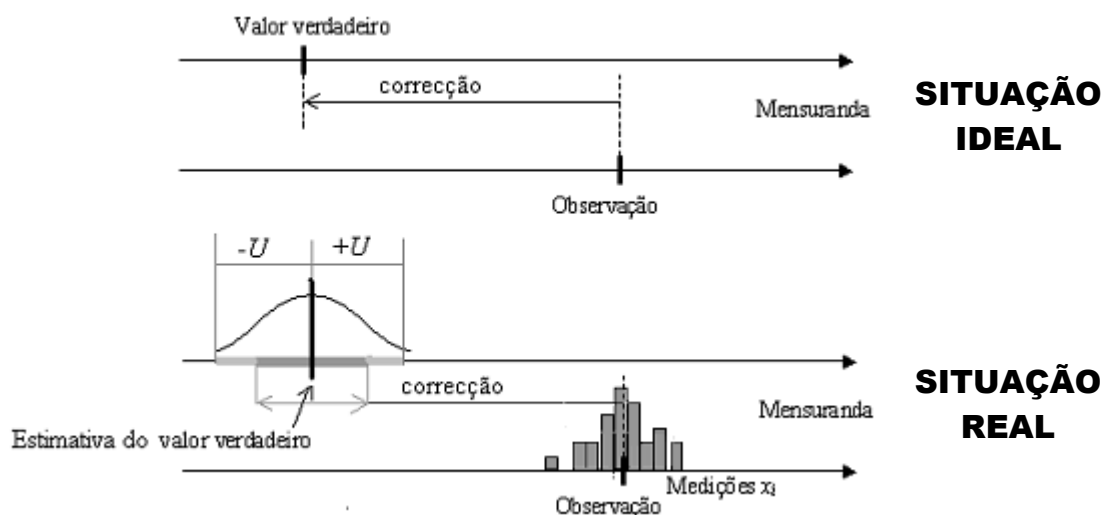


Figura 3 – Representação gráfica do conceito de incerteza

A representação gráfica permite “sentir” que uma medição contém em si sempre uma tendência central (média) e uma dispersão (desvio-padrão) e que estes conceitos não têm posição rigorosa, antes sendo susceptíveis de aproximações e estimativas que vão contribuir para “alargar” o valor de incerteza. O cálculo matemático do intervalo de confiança (campo de incerteza) é sempre alargado por um factor de expansão (*coverage factor*) geralmente 2 ou maior (uma excepção pode ocorrer, que é explicada no documento EA-4/02, S9.14 [5], onde o valor de k pode ser 1,65). Este factor de expansão, estatisticamente, faz aumentar a confiança no valor obtido que, nos nossos estudos, será geralmente da ordem de 0,95 (mais propriamente 95,45 %).

Incertezas tipo A e incertezas tipo B

De acordo com o método de determinação, assim a incerteza pode ser classificada como “A” ou como “B” [4]. Não se deve confundir esta classificação com a antiga separação entre incerteza *sistemática* e *aleatória*, não devendo esta classificação ser mantida, por ser ambígua.

*Incertezas
tipo A e
tipo B*

- A incerteza **tipo A** resulta de uma determinação baseada em análise estatística de uma série repetida de observações. O parâmetro calculado em termos de análise estatística é o **desvio-padrão**.
- A incerteza **tipo B** resulta de métodos de cálculo não estatísticos, baseada no entanto em conceitos científicos. Também este tipo de incerteza nos leva à estimativa de um **desvio-padrão**, mas o método de cálculo é diferente de caso para caso.

Faz-se notar que o termo **incerteza-padrão**, utilizado no Guia da referência [4], corresponde ao desvio-padrão.

*Incerteza-
padrão*



Modelo matemático

2.1 - A expressão de um resultado de medição só está completa quando contém o valor atribuído à mensuranda e a incerteza da medição associada a esse valor. Neste documento, todas as grandezas que não são completamente conhecidas são tratadas como variáveis aleatórias, incluindo as grandezas de influência que possam afectar o valor medido.

2.2 – A incerteza de medição é o parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos à mensuranda. Neste documento o termo abreviado **incerteza** é usado para referir **incerteza de medição** quando não há o risco de equívoco. ...

2.3 – As **mensurandas**, são as grandezas submetidas à medição. Na calibração, em regra, lida-se com uma única mensuranda ou **grandeza de saída** Y , que depende de um certo número de **grandezas de entrada** X_i ($i= 1, 2, \dots, N$), de acordo com a relação funcional:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$$

"Guia para a expressão da incerteza de medição nos Laboratórios de Calibração", IPQ 2005 [6]

Como se viu na transcrição anterior, a maior parte das mensurandas não são obtidas directamente, mas sim determinadas através de outras quantidades. Pode exprimir-se a mensuranda Y em função das grandezas X_1, X_2, \dots, X_N , representado-se a função:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (2)$$

A
mensuranda
como função
de outras
grandezas

Cabe aqui referir uma importante classificação dos métodos de medição.

Métodos:
directo e
indirecto

Método de medição directo

O valor da grandeza é obtido directamente e não através da medição de outras grandezas que estejam relacionadas por meio de uma função com a grandeza a medir.

Exemplo: a medição de um comprimento com uma escala graduada.

Método de medição indirecto

O valor da grandeza é obtido através da medição de outras grandezas que estão relacionadas (por uma determinada função) com a grandeza a medir.

Exemplos de medições indirectas:

Medição de uma pressão pneumática recorrendo à medição de altura de uma coluna de líquido que se encontra em equilíbrio sob acção da pressão a medir;

Medição da temperatura recorrendo a um termopar, lendo a força electromotriz que o termopar produz sob o efeito da temperatura.

O volume de um cilindro com medição do diâmetro e da altura recorrendo a um paquímetro.

Nas estimativas de incertezas é usual recorrer a uma expressão que permite obter correcções devidas a grandezas de influência. Deste modo, praticamente todas as medições directas são transformadas em medições indirectas.

Exemplo

Um comprimento medido com um micrómetro pode ser corrigido sabendo a temperatura a que esse comprimento foi medido e conhecendo os coeficientes de expansão térmica do material submetido a medição e do próprio micrómetro. Temos assim várias grandezas de entrada: comprimento, temperatura, coeficientes de expansão térmica.

Logo, esta medição é tratada como indirecta (estamos a revelar uma das grandes capacidades dos metrologistas – *complicar o que parecia simples, mas só parecia simples porque ainda estávamos num santo estado de inocência!*)

Exemplo

O valor da massa volúmica de uma esfera de aço é dado por

$$\rho = m / (4/3 \times \pi \cdot r^3)$$

Neste caso não é tido em causa o efeito de temperatura, nem o da impulsão do ar. A mensuranda Y é a massa volúmica ρ , sendo X_1 o valor da massa da esfera e X_2 o respectivo raio.

Assim, a correspondência entre a equação da massa volúmica e a equação de Y (a mensuranda), é a seguinte:

$$\begin{array}{c} \rho = m(4/3 \times \pi \cdot r^3) \\ \swarrow \quad \searrow \quad \nearrow \\ y = f(x_1, x_2) \end{array}$$

ou seja:

$$y = \rho; \quad x_1 = m; \quad x_2 = r$$

Notar que se indicaram as variáveis com letras minúsculas. Por favor retenha este pormenor, aparentemente insignificante, mas que em rigor tem significado real e distingue claramente aquilo que estamos a tratar. De seguida encontra-se a explicação.

Calculando a incerteza tipo A

A indicação de X_i como variável de entrada (a grandeza de entrada i) respeita a uma grandeza e , como tal, deve representar o valor exacto da respectiva medição. Igualmente a indicação Y se refere à mensuranda, como se o respectivo valor fosse de facto o resultado das medições feitas.

Mas, tanto as grandezas de entrada como a própria mensuranda são valores estimados. Para distinguirmos de quando se trata de estimativas (a generalidade dos casos no âmbito da metrologia) faz-se indicação de variáveis e mensuranda recorrendo a **letras minúsculas**.

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (3)$$

A estimativa da mensuranda como função da estimativa de outras grandezas

O exemplo mais vulgar de uma estimativa é o que resulta da média aritmética de n determinações independentes.

Determinação da incerteza tipo A

A avaliação de incertezas tipo A tem lugar quando tivermos várias observações independentes da grandeza de entrada X_i , tendo havido condições semelhantes durante a respectiva medição. Haverá sempre uma dispersão dos valores obtidos, podendo ocorrer casos em que as variações são assumidas como zero devido a uma insuficiente resolução do equipamento de medição utilizado.

Para a grandeza de entrada X_i medida de modo repetitivo, chamaremos q . Em n medições ($n > 1$) consideramos que são estatisticamente independentes e que a estimativa de q é a sua **média aritmética** \bar{q} , sendo q_k ($k=1, 2, \dots, n$). Consideramos tratar-se de variável aleatória.

$$\bar{q} = \frac{\sum_{k=1}^n q_k}{n} \quad (4)$$

Média
aritmética

Por definição, qualquer estimativa é um valor aproximado, encontrando-se a média, neste nosso caso, entre dois valores limites de um intervalo de confiança, o que é exactamente a incerteza associada à estimativa da variável X_i

Estimativa da incerteza tipo A

A **variância experimental** (chama-se experimental porque refere-se a uma amostra e não a uma população) é uma estimativa que corresponde à distribuição de probabilidade da distribuição relacionada com a dispersão de resultados.

A variância experimental $s^2(q)$ dos valores q_i é dada por:

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2 \quad (5)$$

*Variância
experimental*

O desvio padrão experimental (ou amostral) será:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2}{n-1}} \quad (6)$$

*Desvio-
padrão
experimental
(amostral)*

A estimativa da variância e a respectiva raiz quadrada - **o desvio padrão experimental** - caracterizam a variabilidade dos valores observados q_k , ou seja, a dispersão da média \bar{q} .

Ao calcular a média, teremos mais confiança no resultado obtido se tivermos feito maior número de observações. Assim, temos que fazer uma estimativa daquilo a que se chama **variância experimental da média** a qual é determinada pela seguinte expressão:

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_k)}{n} \quad (7)$$

*Variância
experimental
da média*

Ao determinar a raiz quadrada desta variância obtemos o chamado **desvio padrão experimental da média**. A este desvio padrão passaremos, de agora em diante, a chamar **incerteza-padrão** $u(\bar{q})$ da estimativa \bar{q} da grandeza de entrada, pelo que:

$$u(\bar{q}) = s(\bar{q}) \quad (8)$$

*Desvio-padrão
experimental da
média*

Mas, deveremos ter um número razoável de observações para que o valor obtido seja credível. Um pequeno número de observações pode levar a subestimação do desvio padrão.

Para que a amostragem seja considerado estatisticamente aceitável, é recomendado um número mínimo de 10 observações repetidas.

Ora, na metrologia em geral e mesmo nas calibrações, é muito vulgar utilizar-se um número de 3 ou 5 observações repetidas. É evidentemente muito pouco para se considerar um tratamento estatístico fiável. Daí que deverá haver um tratamento final que compense de algum modo os efeitos desta tão pequena amostragem (mesmo que seja de 5 repetições). No final deste texto de incertezas é apresentada a equação de Welch-Satterthwait, através da qual se procede a uma correcção conveniente (ver anexo E do Guia para a expressão da incerteza de medição nos Laboratórios de Calibração, IPQ ref. [6]).



Determinação da incerteza tipo B

*Incerteza
tipo B*

Quando existem valores x_i *estimados de uma quantidade de entrada* X_i que não tenha sido obtida de observações repetidas, a incerteza-padrão associada $u(x_i)$ é avaliada através de informação acerca da possível variabilidade de X_i . A informação pode advir de:

- medições prévias
- conhecimento geral do comportamento e propriedades de materiais e instrumentos relevantes
- especificações de fabricantes
- dados provenientes de certificados de calibração
- incertezas fornecidas por bibliografia.

A informação disponível para avaliação de um componente de incerteza tipo B deve ser analisada cuidadosamente, pois que dessa análise vai depender o tipo de tratamento a efectuar. Trataremos aqui das situações mais vulgares no âmbito do estudo de incertezas nas calibrações.

Incerteza de padrões de referência (tipo B normal)

*Incerteza
tipo B
normal*

Este tipo de incerteza está invariavelmente associado às calibrações. De facto, não é possível melhorar uma informação a montante do processo de calibração. Se o padrão tem associada uma incerteza do resultado por ele indicado, não é possível, durante a calibração onde esse padrão é utilizado, melhorar essa incerteza. Na realidade, o que acontece é que sempre a pioramos, embora possamos obter uma

incerteza de um valor tão pequeno que, no limite, pode ser idêntica à incerteza do padrão de referência.

Qualquer padrão de referência tem um certificado de calibração no qual consta uma indicação de incerteza, como por exemplo:

$$U = \pm 0,05 \text{ mm}$$

existindo também uma indicação do valor de k com que esta incerteza foi expandida (assunto a tratar adiante). Suponhamos que a indicação é de que o $k=2$ ou que a incerteza foi calculada com uma probabilidade de 95%. Se a indicação diz de que a probabilidade é de 95%, pode considerar-se o valor de k igual a 2.

No nosso estudo de incerteza tipo B de padrões de referência, se não houver informação em contrário, utilizaremos o factor de expansão $k=2$.

Isto significa que, quando o laboratório calibrou o nosso padrão, obteve várias incertezas padrão que combinadas entre si permitiu obter uma incerteza-padrão combinada $u(y)$ e que utilizou o factor $k=2$ que levou a uma incerteza expandida U (ou incerteza global), tal que

$$U = \pm (2 \times u(y))$$

No exemplo apresentado, em que $U = \pm 0,05 \text{ mm}$, o laboratório que calibrou o padrão obteve um valor de $u(y) = \pm 0,025 \text{ mm}$ e uma **incerteza expandida** como segue:

$$U = \pm k \times u(y) = \pm 2 \times 0,025 \text{ mm}$$

$$U = \pm 0,05 \text{ mm}$$

Onde U é a incerteza expandida.

É esta última indicação o que vemos ao analisar o certificado de calibração.

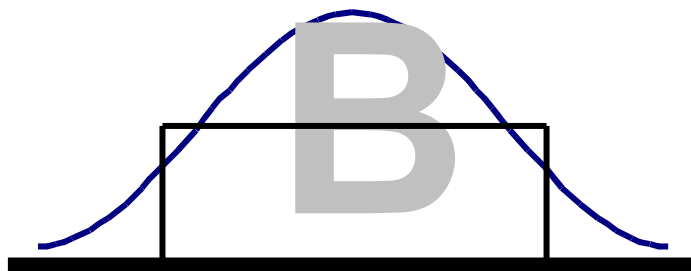
Como o que queremos é o componente de incerteza-padrão do padrão de referência e como aquilo que temos é U , deveremos dividir U pelo k respectivo, que é 2.

$$u(\text{padrão}) = U / 2$$

$$u(\text{padrão}) = 0,05 / 2 = 0,025 \text{ mm}$$

ou seja, o nosso componente $u(\text{padrão})$ é o valor da incerteza-padrão da grandeza de saída determinado pelo laboratório que calibrou o nosso padrão.

Neste caso, como não tínhamos qualquer outra informação, dizemos que recorreremos a uma **incerteza tipo B, de distribuição normal**³.



³ Lembra-se que é preciso atenção às indicações com letras maiúsculas e minúsculas, que têm sempre significados diferentes

Exemplo

Um certificado de calibração indica que a massa m_s de um padrão de aço inoxidável tem o valor de 1 000,000 32 g e que a incerteza expandida é de 0,24 mg (expandida a três desvios-padrão, ou seja, $k=3$). A incerteza-padrão da massa é

$$u(m_s) = (0,24 \text{ mg}) / 3 = 0,08 \text{ mg}$$

A **incerteza-padrão relativa** é $u(m_s)/m_s$, ou seja, 80×10^{-9} (é um valor adimensional).

A variância estimada é $u^2(m_s) = (0,08 \text{ mg})^2 = 6,4 \times 10^{-9} \text{ g}^2$

(Exemplo – 4.3.3 [4])



Conhecidos os limites de grandezas

Este tipo de incertezas não nos permite conhecer de modo seguro o tipo de função de distribuição de densidade por não ter sido obtido por tratamento estatístico adequado.

No entanto, geralmente é possível saber de que modo esta função de densidade probabilidade ocorre, podendo haver informação que nos permita estimar perante que tipo de distribuição estamos. Falaremos aqui de dois tipos de distribuição:

- **Distribuição rectangular**
- **Distribuição triangular**

*Incerteza
tipo B*

Nesta situação, somente sabemos limites superior e inferior (a_+ e a_-) de uma determinada grandeza, como são exemplo:

- resolução do indicador
- especificações de fabricante (erro típico)
- tolerâncias de normas (erro admissível)
- gama de temperatura
- erro de arredondamento
- erro de truncagem

Embora aqui só se refiram as distribuições de probabilidade normais, rectangulares e triangulares, existem ainda outros tipos de distribuições.

Distribuição rectangular

*Distribuição
rectangular*

Na maior parte dos casos, usa-se (em desespero de causa – ver os 10 Mandamentos da Incerteza) uma distribuição de probabilidade constante entre esses limites (distribuição de probabilidade rectangular), onde o valor esperado é o ponto central do intervalo (distribuição uniforme):

$$x_i = (a_+ - a_-) / 2 \quad (9)$$

a que tem o seguinte tratamento para cálculo do quadrado da incerteza-padrão:

$$u^2(x_i) = (a_+ - a_-)^2 / 12 \quad (10)$$

Esta expressão é mais utilizada em termo de diferença entre a_+ e a_- chamada de $2a$ então fica:

$$u^2(x_i) = a^2 / 3 \quad (11)$$

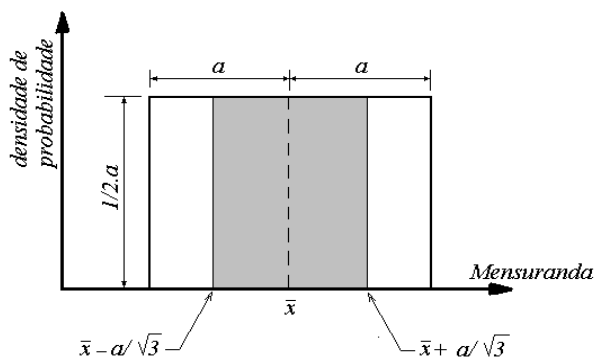
Distribuição Rectangular

Uma situação muito vulgar no cálculo de incertezas ocorre quando, conhecendo limites (superior e inferior), não temos informação suficientemente credível do modo como a correspondente distribuição de probabilidade ocorre nesse intervalo.

Trata-se de uma distribuição que é assumida como podendo ocorrer com igual probabilidade no intervalo em causa, pelo que a podemos classificar como

distribuição com densidade de probabilidade constante (rectangular)

este tipo de distribuição pode representar-se graficamente:



A expressão utilizada para o cálculo da variância (quadrado da incerteza-padrão) é:

$$u^2(x_i) = \frac{1}{12} (a_+ - a_-)^2$$

Mas se $a_+ - a_- = 2a$, então teremos:

$$u^2(x_i) = \frac{1}{3} a^2$$

Esta distribuição é aceitável quando não se conhece informação suficiente de variabilidade.

Distribuição triangular

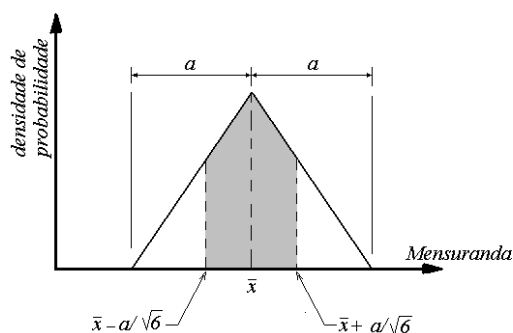
Distribuição triangular

Distribuição Triangular

Quando conhecidos que são os limites extremos, mas sabemos que ocorre uma maior incidência de acontecimento na vizinhança do ponto central (média), a distribuição recomendável é

distribuição com densidade de probabilidade triangular

cuja representação gráfica é a seguinte:



A incerteza-padrão neste tipo de distribuição

$$u^2(x_i) = \frac{1}{6} a^2$$

Embora aqui só sejam abordadas as distribuições rectangulares e triangulares, vários outros tipos de distribuição podem ser consideradas, tal como se verifica no apêndice que se encontra no final deste texto, correspondente à pg 20 de [11].



Indicadores do resultado de uma medição

O que foi visto relaciona-se com os dois indicadores determinantes do resultado de uma medição (ver pág. 14, «Expressão completa do resultado de uma medição»):

1 – Indicador de posição (ou tendência central). Para este indicador utiliza-se a média aritmética dos vários valores lidos;

2 – Indicador de dispersão (ou variabilidade). Para este indicador geralmente utiliza-se o desvio-padrão experimental da média, ou um desvio padrão assumido para um dado tipo de distribuição estatística.

Cálculo da incerteza-padrão da estimativa da Grandeza de Saída

Incerteza
padrão
"combinada"

Nota 1 - A incerteza-padrão aqui calculada, tem o valor de um desvio padrão e também se pode chamar "incerteza combinada", pois que resulta da combinação das incertezas padrão dos componentes.

*Nota 2 - Dado que estamos a falar da incerteza combinada, ela corresponde a uma incerteza-padrão da **estimativa** grandeza de saída, que como já tivemos oportunidade de ver, é designada por $u(y)$ (minúsculo).*

Trataremos neste texto de grandezas de entrada não correlacionadas entre si, situação razoavelmente aceite na maioria dos estudos no âmbito da calibração.

O quadrado da incerteza-padrão da estimativa da grandeza de saída (variância combinada) é o resultado da soma do quadrado das incertezas padrão associadas a cada componente de incerteza, afectados de um coeficiente de sensibilidade:

**quadrado da incerteza-padrão
(da estimativa da grandeza de saída)**

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^n u_i^2(y)$$

(12)

β

A grandeza $u_i(y)$ com $(i=1, 2, \dots, N)$ é a contribuição para a incerteza padrão associada à estimativa da grandeza de saída y , resultando da incerteza-padrão associada à estimativa da grandeza de entrada x_i

$$u_i(y) = c_i \cdot u(x_i) \quad (4.2)$$

em que c_i é o **coeficiente de sensibilidade** associado à estimativa da grandeza de entrada x_i , i. e., a derivada parcial da função modelo f em relação a X_i , avaliada nas estimativas x_i da grandeza de entrada,

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (4.3)$$

O coeficiente de sensibilidade c_i descreve como a grandeza estimada de saída y é influenciada pelas variações de cada uma das estimativas das grandezas de entrada x_i . Pode ser avaliada de acordo com a função modelo f pela equação {4.3} ou através da utilização de métodos numéricos, i.e., calculando a variação na estimativa da grandeza de saída y , devida à variação na estimativa da grandeza de entrada x_i de $+u(x_i)$, e $-u(x_i)$, tomando para valor de c_i a diferença resultante em y dividida por $2u(x_i)$. Por vezes, pode ser mais apropriado determinar a variação da estimativa da grandeza de saída y através de um ensaio repetindo a medição, por exemplo, em $x_i \pm u(x_i)$.

[6] "Guia para a expressão da incerteza de medição nos Laboratórios de Calibração", IPQ

Para melhor compreensão do significado de $u_i(y)$ e $u(y)$, analisemos o seguinte exemplo:

Numa medição (massa volúmica de uma esfera) as grandezas de entrada são:

- Repetibilidade das medições da massa da esfera, a que daremos a letra m , que consideramos com o índice $i=1$
- Incerteza das medições de um diâmetro, a que daremos a letra d , que consideramos com o índice $i=2$

A grandeza de saída é uma massa volúmica, com a letra grega ρ .

A incerteza-padrão associada à estimativa da grandeza de entrada *massa*, que designamos por $u_m(\rho)$, corresponde a $u_i(y)$, em que $i=m$ e $y=\rho$.

$$u_m(\rho) = u_m \cdot c_m \quad \text{ou,} \quad [\quad u_1(\rho) = u_1 \cdot c_1 \quad]$$

(Lembrar que c_i é o coeficiente de sensibilidade da grandeza (componente) i).

A incerteza-padrão associada à estimativa da grandeza de entrada *diâmetro*, que designamos por $u_d(\rho)$, corresponde a $u_i(y)$, em que $i=d$ e $y=\rho$.

$$u_d(\rho) = u_d \cdot c_d \quad \text{ou,} \quad [\quad u_2(\rho) = u_2 \cdot c_2 \quad]$$

A grandeza $u(y)$, que neste exemplo seria $u(\rho)$, que é a incerteza-padrão da estimativa da grandeza de saída *massa volúmica*, é calculada pela expressão

$$u(\rho) = \sqrt{(u_m \cdot c_m)^2 + (u_d \cdot c_d)^2} \quad \text{sendo}$$

$$c_m = \frac{\partial \rho}{\partial m} \quad \text{e}$$

$$c_d = \frac{\partial \rho}{\partial d}$$

Lei da propagação – expressão genérica

Há casos, que raramente acontecem na calibração, em que a função modelo é fortemente não linear, ou alguns dos coeficiente de sensibilidade c_i [ver equações (4.2) e (4.3)] são insignificantes, e têm de ser incluídos termos de ordem superior na equação (4.1)⁴. Para o tratamento destes casos ver [1]⁵ (Bibliografia).

Nota do IPQ: A expressão da Lei de Propagação mais genérica nestes casos, vem dada por:

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N c_i c_j u(x_i x_j) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{2} c_{ij}^2 + c_i c_{ij} \right) u^2(x_i) u^2(x_j)$$

O primeiro termo corresponde ao descrito no texto, o segundo termo corresponde à contribuição das correlações existentes ..., e o terceiro termo corresponde às contribuições de segunda ordem.

[6] "Guia para a expressão da incerteza de medição nos Laboratórios de Calibração", IPQ

Nos casos geralmente tratados considera-se somente o primeiro termo, não considerando os outros termos por serem de ordens superiores, pelo que podem geralmente ser desprezados.

Vimos portanto que o factor $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ é chamado de *coeficiente de sensibilidade*, que se designa por c_i .

A cada uma das parcelas do somatório da expressão (12) designamos por $u_i^2(y)$, o que corresponde a uma variância, sendo

$$u_i(y) = u(x_i) \times \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \quad (13)$$

ou

$$u_i(y) = u(x_i) \times c_i \quad (14)$$

$$\text{pois que } c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$$

⁴ As equações aqui referidas têm numeração própria do documento citado. A equação (4.1) corresponde à equação (12) deste texto.

⁵ Esta indicação bibliográfica corresponde a [4] deste texto.

Podemos representar uma expressão global para a incerteza-padrão da estimativa da grandeza de saída, como segue:

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 \cdot u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n c_i \cdot c_k \cdot u(x_i, x_k)} \quad (15)$$

incerteza-padrão combinada (para variáveis correlacionadas – considerada a covariância)

incerteza-padrão combinada

(variáveis correlacionadas)

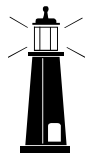
$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 \cdot u^2(x_i)}$$

incerteza-padrão combinada (para variáveis não correlacionadas)

(16)

incerteza-padrão combinada

(variáveis não correlacionadas)



Cálculo dos coeficientes de sensibilidade

O método para determinar o coeficiente de sensibilidade recorre ao cálculo diferencial, nomeadamente ao cálculo por derivadas parciais.

Assim se tivermos uma função de duas variáveis de entrada $y = f(x_1, x_2,)$

Como calcular o coeficiente de sensibilidade

Seja por exemplo aquela que foi dada e que corresponde à determinação da massa volúmica da esfera de aço:

$$\rho = m / (4/3 \times \pi \cdot r^3)$$

mas como as medições foram feitas em termos de diâmetro, há que expressar a função em termos do diâmetro, sendo:

$$\rho = 6 \cdot m / (\pi \cdot d^3)$$

Notar que esta expressão tem duas variáveis de entrada – a massa m e o diâmetro D da esfera.

Assim, teremos duas derivadas parciais, a saber:

$$\frac{\partial \rho}{\partial m} = 6 / (\pi \cdot D^3)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial D} = -18M / (\pi \cdot D^4)$$

Quando as grandezas de entrada são de algum modo correlacionadas, deverá considerar a contribuição da respectiva covariância. Caso a correlação seja evidente, utiliza-se a expressão acima, (15), recomendando-se a leitura do anexo D do documento guia (IPQ) ref. [6].

Balanço da Incerteza⁶

O balanço da incerteza

Este balanço corresponde a uma análise da incerteza de medição e representa a contribuição de cada um dos componentes de incerteza, e deve apresentar:

- estimativas das grandezas de entrada
- incertezas padrão associadas a cada variável de entrada
- coeficientes de sensibilidade de cada um dos componentes

Para um mais fácil tratamento, recomenda-se a utilização do quadro seguinte:

Grandeza / componente	Estimativa do valor da grandeza	Incerteza padrão	Coeficiente de sensibilidade	Quadrado da contribuição para a incerteza padrão
X_i	x_i	$u(x_i)$	c_i	$u^2_i(y) = (u(x_i) \cdot c_i)^2$
X_1	x_1	$u(x_1)$	c_1	$u^2_1(y)$
X_2	x_2	$u(x_2)$	c_2	$u^2_2(y)$
...
X_N	x_N	$u(x_N)$	c_N	$u^2_N(y)$
Y	y			$u^2(y)$

Descrição de cada grandeza e/ou componente

Dados relativos à própria grandeza

Dados relativos às incertezas padrão

Dados relativos às derivadas parciais

Valores calculados

Somatórios

⁶ Embora esteja muito generalizado e consensualmente aceite este termo (balanço) deveria mais propriamente ser “inventário”.

Incerteza expandida da medição

Não é fácil confirmar experimentalmente que uma dada distribuição é normal. Contudo, em situações onde diversos componentes de incerteza (isto é, $N \geq 3$), derivados de distribuições de probabilidade de quantidades independentes, por exemplo distribuições normais ou distribuições rectangulares, contribuem para a incerteza padrão combinada (estimativa da saída), as condições do teorema de limite central são encontradas e pode-se aceitar com um elevado grau de aproximação que a distribuição da grandeza de saída seja normal.

A incerteza de medição expandida U , deve ser obtida pela multiplicação da incerteza-padrão $u(y)$ (combinada) por um factor k , tal que:

A incerteza
expandida
da
medição

$$U = \pm k \cdot u(y)$$

Como já referido, a distribuição normal (Gaussiana) pode em alguns casos ser atribuída à mensuranda como aceitável e, nestes casos, se houver um apreciável número de observações repetidas ou se a informação obtida dos componentes de incerteza for considerada fiável, usa-se o valor de $k=2$. Nestas condições, a incerteza expandida (global) corresponde a uma probabilidade de cerca de 95% (mais exactamente 95,45%).

A fiabilidade da incerteza-padrão da grandeza de saída é determinada pelos seus graus de liberdade efectivos. Porém, se tiver havido um cálculo de incertezas tipo A recorrendo a observações repetidas com dez ou mais observações, considera-se como boa a fiabilidade a incerteza obtida, podendo portanto ser utilizado o valor de $k=2$.

Cálculo dos graus de liberdade efectivos

Vimos que o valor do factor k para um nível de confiança de 95%, será igual a dois se o número de observações das incertezas padrão tipo A for razoavelmente grande (pelo menos igual a 10). Este factor k será maior que 2, por exemplo, quando as incertezas tipo A forem resultado de um número pequeno de observações.

Na estimativa do desvio-padrão de uma distribuição normal, o número de graus de liberdade dessa estimativa pode considerar-se como uma boa medida de fiabilidade (os graus de liberdade das estimativas é função da dimensão da amostra).

Quando só podemos obter um pequeno número de observações o valor k que corrigirá a incerteza-padrão $u(y)$ determina-se a partir da expressão *Welch-Satterthwaite*.

Esta expressão, aplicável às calibrações, faz a determinação do número de graus de liberdade efectivos como segue:

$$v_{ef} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad (18)$$

A expressão de
Welch-
Satterthwaite.

onde $u(y)$ é a incerteza-padrão combinada e v_i é o número de graus de liberdade das repetições feitas em cada componente, que para incertezas tipo A é $n-1$. Para incertezas tipo B o valor de v_i é considerado ∞ [6].

O factor de expansão k será determinado pela seguinte tabela (baseada numa distribuição *t de Student* para uma probabilidade de 95,45%):

v_{ef}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,00

O nº de graus de liberdade efectivos associados a padrões de referência, cujos certificados de calibração somente indiquem o factor de expansão $k=2$, deverá ser considerado como sendo $\nu_{ef}=50$ [6].

Os graus de liberdade efectivos e o EXCEL.

Recorrendo ao “EXCEL”!

O utilitário “Excel” que temos nos nossos computadores, resolve num “ai” o pequeno problema de cálculo dos graus de liberdade efectivos.

Não há qualquer dificuldade em resolver a fórmula de *Welch-Satterthwaite*, cuja expressão para Excel poderá ser, no caso de 2 variáveis de entrada, ambas do tipo A:

$$\nu_{ef} = [\text{equação (18)}]$$

O cálculo do factor k será feito como segue:

A função inversa de T Student, que é dada no Excel por

$$\text{TINV}(0,0455; \nu_{ef})$$

dá-nos o valor de k .

Na versão do EXCEL em português, a função é <INVT>

Factores de expansão k para graus de liberdade efectivos até 70

(Tabela gerada em EXCEL)

ν	k	ν	k
1	13,968	36	2,0719
2	4,5266	37	2,0699
3	3,3068	38	2,068
4	2,8693	39	2,0662
5	2,6487	40	2,0645
6	2,5165	41	2,0628
7	2,4288	42	2,0613
8	2,3664	43	2,0598
9	2,3198	44	2,0584
10	2,2837	45	2,0571
11	2,2549	46	2,0558
12	2,2314	47	2,0546
13	2,2118	48	2,0534
14	2,1953	49	2,0523
15	2,1812	50	2,0513
16	2,1689	51	2,0502
17	2,1583	52	2,0492
18	2,1489	53	2,0483
19	2,1405	54	2,0474
20	2,133	55	2,0465
21	2,1263	56	2,0456
22	2,1202	57	2,0448
23	2,1147	58	2,044
24	2,1097	59	2,0433
25	2,1051	60	2,0425
26	2,1009	61	2,0418
27	2,0969	62	2,0411
28	2,0933	63	2,0405
29	2,09	64	2,0398
30	2,0868	65	2,0392
31	2,0839	66	2,0386
32	2,0812	67	2,038
33	2,0787	68	2,0374
34	2,0763	69	2,0369
35	2,074	70	2,0363

Expressão da incerteza nos certificados de calibração

Quem tem por função analisar um certificado de calibração, quer seja para verificar se está conforme a ISO 17025 ou o documento EA-4/02, nota de imediato que estes documentos obrigam a que exista uma indicação da incerteza da calibração. Além disso essa incerteza deve vir acompanhada de informação acerca de como foi obtida.

O resultado de uma calibração obrigatoriamente terá que conter uma estimativa da mensuranda (eventualmente o seu erro relativamente a um valor de referência), estimativa essa que vimos ser representada por y . A acompanhar a estimativa da mensuranda, deve vir a incerteza expandida que lhe está associada, U , ficando portanto a expressão do resultado com a forma apresentada na equação (1)

$$y' = y \pm U$$

podendo ser, de modo mais detalhado:

$$y' = [(y_b + c) \pm U]$$

Onde

y' é a expressão completa do resultado da medição

y é o resultado corrigido

y_b é o resultado bruto

c é o valor da correcção

U é a incerteza expandida

Na prática, o resultado não tem esta configuração matemática, mas isso um formato de tabela, podendo ter a configuração do exemplo seguinte:

Nº da leitura	Valor Lido (Resultado bruto) °C	Correcção °C	Incerteza expandida °C
1	25,2	0,1	±0,2
2	50,5	0,2	±0,2
3	75,7	0,3	±0,2

Nota: o *Resultado Corrigido* resulta da soma do *Resultado Bruto* com o valor da *correção*.

Com maior frequência a tabela de resultado de calibração tem a seguinte configuração:

Nº da leitura	Valor do Padrão °C	Valor Lido (Resultado bruto) °C	Erro °C	Incerteza expandida °C
1	25,3	25,2	-0,1	±0,2
2	50,7	50,5	-0,2	±0,2
3	76,0	75,7	-0,3	±0,2

Notar que o erro de medição é o simétrico do valor da *correção* (somativa).

Deverá ser apresentada uma nota que poderá ser sob duas formas, sendo a primeira delas utilizada quando foi seguido o método geral, onde a fiabilidade das medições foi considerada satisfatória e a segunda para a situação onde tal fiabilidade não era segura e, portanto, se recorreu ao cálculo do factor de expansão k através da determinação do número de graus de liberdade efectivos.

A expressão da incerteza nos certificados de calibração

- “ A incerteza expandida apresentada está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão $k=2$, o qual, para uma distribuição normal, corresponde a uma probabilidade de, aproximadamente, 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02”
- “ A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão $k=XX$, o qual, para uma distribuição t com $\nu_{ef}=YY$ graus de liberdade efectivos, corresponde a uma probabilidade de, aproximadamente, 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02”

O valor numérico da incerteza deve ser apresentado com não mais do que dois algarismos significativos. O valor numérico do resultado da medição deve ser arredondado, na sua expressão final, por forma a não conter algarismos menos significativos que os da incerteza expressa. No processo de arredondamento, devem ser utilizadas as regras habituais (para detalhe dobre os arredondamentos ver ISO 31-0:1992, Anexo B). Contudo, se o arredondamento provocar uma redução do valor numérico da incerteza de medição superior a 5%, deve ser utilizado um arredondamento para cima [6].

Procedimento sequencial

(Guia prático para utilização do documento EA-4/02)

a) Exprimir em termos matemáticos a mensuranda Y em função das grandezas de entrada X_i . Quando for efectuada uma comparação directa com um padrão de referência, a equação pode ser

$$Y = X_1 + X_2 \quad \text{ou} \quad \text{Erro} = X_{IM} - X_{PADR\tilde{A}O} + \delta X_{Grand.Influe.}$$

- b) Identificar as correcções possíveis de efectuar e que sejam significativas.
- c) Fazer uma listagem das fontes de incerteza.
- d) Calcular a incerteza-padrão $u(\bar{q})$ para as grandezas medidas em condições de repetibilidade.
- e) Para valores isolados, p.ex., valores resultantes de medições anteriores, valores de correcções, valores de literatura, adoptar as incertezas-padrão quando são dadas ou podem ser calculadas. Tomar atenção à forma de representação da incerteza utilizada. Se não existirem dados disponíveis, estimar o valor $u(x_i)$ com base na experiência ou bases científicas.
- f) Para as grandezas de influência cuja distribuição de probabilidade é conhecida ou pode ser assumida, utilizar o correspondente valor esperado como a estimativa x_i e a incerteza-padrão $u(x_i)$ como sendo a raiz quadrada da variância dessa distribuição. Se só se puderem estimar os limites superior e inferior, calcular a incerteza-padrão $u(x_i)$ considerando uma distribuição rectangular.

- g) Calcular $u(x_i)$ para cada X_i e o respectivo coeficiente de sensibilidade c_i , multiplicando os respectivos quadrados para obter $u_i^2(y)$; fazendo o somatório de todos os $u_i^2(y)$, extrair a respectiva raiz quadrada, obtendo $u(y)$ da mensuranda. Se as grandezas forem correlacionadas, deverá seguir-se o anexo D da ref^a [6] (cálculo da covariância).
- h) Calcular a incerteza-padrão expandida (global) multiplicando a incerteza-padrão $u(y)$ pelo factor k (este valor de k pode variar de acordo com o cálculo de graus de liberdade efectivos).
- i) Expressar o resultado da medição, no certificado de calibração, compreendendo a estimativa y da mensuranda e a incerteza expandida associada U , ficando portanto expresso na forma $(y \pm U)$.

FORMULÁRIO

Resumo das fórmulas utilizadas na estimativa de incertezas:

nº	LEGENDAS	EXPRESSÃO
1	MÉDIA ARITMÉTICA \bar{q} - média aritmética q_j - valores medidos n - número de observações repetidas	$\bar{q} = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{n}$
2	DESVIO PADRÃO EXPERIMENTAL q_i - valores medidos \bar{q} - média dos valores medidos n - número de observações repetidas	$s(q) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}{n - 1}}$
3	INCERTEZA PADRÃO EXPERIMENTAL DA MÉDIA (INCERTEZA TIPO A) $u(\bar{q})$ - incerteza padrão experimental da média $s(q)$ - desvio padrão experimental n - número de observações repetidas	$u(\bar{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}}$
4	INCERTEZA-PADRÃO DE UMA INCERTEZA TIPO B RECTANGULAR a - metade da diferença dos valores limites da distribuição rectangular	$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}}$
5	INCERTEZA-PADRÃO DE UMA INCERTEZA TIPO B NORMAL U - incerteza expandida conhecida k - factor de expansão declarado	$u(x_i) = \frac{U}{k}$


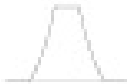









Bibliografia

- [1] Vocabulário Internacional de Metrologia, IPQ – 2008
- [2] Damásio, António, O Erro de Descartes
- [3] ISO 14253-1 – Geometrical Products Specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 1: Decision rules for proving conformance or non-conformance with specifications - 1998
- [4] JCGM 100:2008 - GUM 1995 (with minor corrections) Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement - First edition September 2008
JCGM member organizations (BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML).
http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf
- [5] Documento EA-4/02 (antigo EAL-R2), Expression of the uncertainty of measurement in calibration, Dezembro de 1999
<http://www.european-accreditation.org/n1/doc/EA-4-02.pdf>
- [6] Guia para a expressão da incerteza de medição nos Laboratórios de Calibração, IPQ – Dezembro de 2005
- [7] Documento EA 4/16 (rev00), Guidelines on the expression of uncertainty in quantitative testing, Dezembro de 2003
<http://www.european-accreditation.org/n1/doc/EA-4-16.pdf>
- [8] Evaluation of measurement data — Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” — Propagation of distributions using a Monte Carlo method.
JCGM member organizations (BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML).
http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_101_2008_E.pdf
- [9] Jörg W. Müller, "A unified approach to the expression of uncertainty in measurements", Workshop and Seminar on Measurement Uncertainty in Testing, Barcelona, 9-11/Dezembro 1992
- [10] – Paulo Cabral, Erros e incertezas nas medições, IEP e ISEP, 2004
- [11] – JCGM 101:2008, Evaluation of measurement data — Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” — Propagation of distributions using a Monte Carlo method

APÊNDICE

Funções de densidade de probabilidade [11]

Table 1 — Available information and the PDF assigned on the basis of that information (6.4.1, C.1.2)

Available information	Assigned PDF and illustration (not to scale)	Subclause
Lower and upper limits a, b	Rectangular: $R(a, b)$ 	6.4.2
Imexact lower and upper limits $a \pm d, b \pm d$	Curvilinear trapezoid: $CTrap(a, b, d)$ 	6.4.3
Sum of two quantities assigned rectangular distributions with lower and upper limits a_1, b_1 and a_2, b_2	Trapezoidal: $Trap(a, b, \beta)$ with $a = a_1 + a_2$, $b = b_1 + b_2$, $\beta = [(b_1 - a_1) - (b_2 - a_2)] / (b - a)$ 	6.4.4
Sum of two quantities assigned rectangular distributions with lower and upper limits a_1, b_1 and a_2, b_2 and the same semi-width $(b_1 - a_1 = b_2 - a_2)$	Triangular: $T(a, b)$ with $a = a_1 + a_2, b = b_1 + b_2$ 	6.4.5
Sinusoidal cycling between lower and upper limits a, b	Arc sine (U-shaped): $U(a, b)$ 	6.4.6
Best estimate x and associated standard uncertainty $u(x)$	Gaussian: $N(x, u^2(x))$ 	6.4.7
Best estimate x of vector quantity and associated uncertainty matrix U_x	Multivariate Gaussian: $N(x, U_x)$ 	6.4.8
Series of indications x_1, \dots, x_n sampled independently from a quantity having a Gaussian distribution, with unknown expectation and unknown variance	Scaled and shifted t : $t_{n-1}(x, s^2/n)$ with $x = \sum_{i=1}^n x_i/n$, $s^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - x)^2/(n-1)$ 	6.4.9.2
Best estimate x , expanded uncertainty U_p , coverage factor k_p and effective degrees of freedom ν_{eff}	Scaled and shifted t : $t_{\nu_{eff}}(x, (U_p/k_p)^2)$ 	6.4.9.7
Best estimate x of non-negative quantity	Exponential: $Ex(1/x)$ 	6.4.10
Number q of objects counted	Gamma: $G(q+1, 1)$ 	6.4.11

A incerteza é uma
certeza quotidiana!

MAPA DE RASTREABILIDADE

LABORATÓRIO

NIVEIS

0

A CATIM - LMF	B CATIM - LMD	C CATIM - LMT	D IPQ	E IEP	F ISQ	G CATIM - LMP	H	I	J
04	02 05 06 07 08	03 12			01	09			

R

F 01 Paralelas Ópticas	B 02 Anel Liso 36 mm	C 03 Termómetro digital (0 °C ate 100 °C)	A 04 Dinamómetro Electrónico	B 05 Plano de Granito (400x400)	B 06 Calibrador Paquímetros	B 07 Blocos-- Padrão Grau 1 (10 - Micrómetros)	B 08 Régua Bisel 100 mm	G 09 Transdutor de pressão padrão	
11	21 22	12 (verificação periódica)	11	para controlo geral	21 22	11	21 22	calib. manómetros fabris	21 22

1

01 04 07 11 Micrómetros exteriores 0-25 mm	C 12 Termó-higrografos	B 13 Comparadores analógicos de 10 mm							
21	para controlo geral								

2

02 06 08 10 11 21 Paquímetros 150 mm	02 06 08 10 11 22 Paquímetros 300 mm	23	24	25	26	27	28	29	30

Elaborado por:	Carlos Sousa
Data:	02-03-2011
Edição:	1

PLANO DE CALIBRAÇÃO (2011)

Código	Modelo	Parâmetros	Unidades	Rastreab. ¹	Data Calibração	Periodo em meses	Proc.tº	Reponsável
PAQ1	MITUTOYO	Paquímetro digital 150 mm - 0,01 mm	mm	Interna	2011-Jan	12	Pac-001.V0	Operador
PAQ2	MITUTOYO	Paquímetro digital 150 mm - 0,01 mm	mm	Interna	2011-Fev	12	Pac-001.V0	Operador
PAQ3	MITUTOYO	Paquímetro digital 150 mm - 0,01 mm	mm	Interna	2011-Jan	18	Pac-001.V0	Operador
PAQ4	MITUTOYO	Paquímetro digital 150 mm - 0,01 mm	mm	Interna	2011-Fev	18	Pac-001.V0	Operador
MIC1	TESA	Micrómetro exteriores 0-25 mm - 0,001 mm	mm	Interna	2010-Nov	12	Mic-001.V0	Operador
MIC2	TESA	Micrómetro exteriores 0-25 mm - 0,001 mm	mm	Interna	2010-Nov	12	Mic-001.V0	Operador
MIC3	TESA	Micrómetro exteriores 0-25 mm - 0,001 mm	mm	Interna	2010-Nov	18	Mic-001.V0	Operador
MIC4	TESA	Micrómetro exteriores 0-25 mm - 0,001 mm	mm	Interna	2010-Nov	18	Mic-001.V0	Operador
CMP1	TESA	Comparador de relógio 10 mm - 0,01 mm	mm	Externa	2010-Dez	12	———	Operador
CMP2	TESA	Comparador de relógio 10 mm - 0,01 mm	mm	Externa	2010-Dez	12	———	Operador
		¹ - Ver "Quadro de Rastreabilidade"						

Carlos Sousa

Carlos Sousa

ANEXO 7

(A Metrologia em Laboratório Fabril)

Calibração de Paquímetros até 300 mm

Digitais: resolução mínima de 0,01 mm

De nónio: divisão mínima 0,02 mm

De “relógio”: divisão mínima 0,02 mm

Objectivos:

- Descrever o método de execução de calibração interna de paquímetros até 300 mm.
-

Campo de Aplicação

Paquímetros até 300 mm (inclusivé) de nónio, digitais ou de indicador circular (de relógio), com resolução mínima de 0,01 mm.

Documentos envolvidos

Impresso onde são feitas todas as anotações de valores obtidos, especificações do equipamento, condições ambiente, comentários, etc.

Nota: O impresso Mod. xx/0809 após devidamente preenchido, constitui o registo e o relatório da calibração.

Material Necessário

- Calibrador de paquímetros (figura 1)¹ e blocos-padrão.
- Anel liso padrão de 35 mm (figura 2)
- Micrómetro de exteriores (figura 3)
- Régua de bisel (figura 4)
- Blocos-padrão (figuras 5 e 6)



Figura 1 - Calibrador de paquímetros até 300 mm

¹ Este calibrador pode ser dispensado quando forem utilizados blocos-padrão



Figura 2 - Utilização de anel para medição das maxilas de interiores



Figura 3 - Utilização do micrómetro para medição do paralelismo das maxilas de interiores

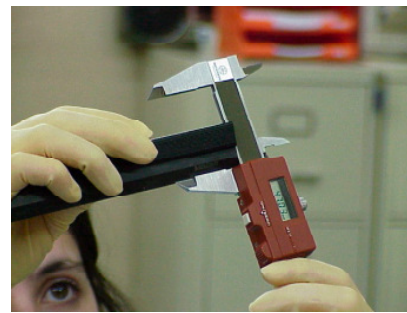


Figura 4 - Utilização da régua de bisel para verificação da planicidade das maxilas de exteriores



Figura 5 – Blocos Padrão de 2,5 mm, 7,7 mm e 20,2 mm utilizados para maxilas de exteriores.

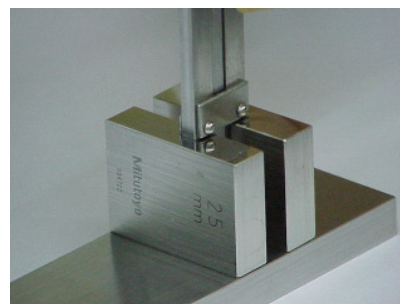


Figura 6 – Medição com a haste de profundidades.

Metodologia

Todos os procedimentos gerais aplicáveis devem ser obrigatoriamente cumpridos.

1. Preparação

- 1.1 Limpeza do paquímetro e do equipamento a utilizar, deixando-se em seguida estabilizar a sua temperatura durante 12 horas (nas calibrações feitas no ISEP o equipamento já se encontra estabilizado)
- 1.2 Deve fazer-se constar no certificado de calibração uma nota indicando o estado do paquímetro (exemplos: «O paquímetro encontrava-se em bom estado» ou «O paquímetro tinha picadas de corrosão nas maxilas de exteriores»)

2. Calibração

2.1 Medidas exteriores - ensaio de exactidão

2.1.1 Realização de leituras no paquímetro, inserindo blocos padrão a ângulos rectos nas faces de medida e utilizando o calibrador de paquímetros¹. Para cada valor sugerido para a calibração, executam-se 3 leituras em diferentes pontos das maxilas. Registo do valor das leituras.

Os valores nominais sugeridos para a calibração são os seguintes:

2,5 - 7,7 - 20,2 - 50,0 - 100,0 - 150,0 - 200,0 - 300,0 (mm)

Blocos padrão: 2,5 - 7,7 - 20,2 (mm) (ver figura 5)

Calibrador de paquímetros¹: 50,0 - 100,0 - 150,0 - 200,0 - 300,0 (mm)

¹ Este calibrador pode ser dispensado quando forem utilizados blocos-padrão

2.2 Planeza das faces das maxilas exteriores

2.2.1 Este ensaio é feito recorrendo à régua de bisel, colocando-a sobre a face a controlar (figura 4) e, olhando à contraluz, verificar se há existência de passagem de luz. Se houver passagem de luz, faz-se constar no certificado que ocorreu passagem de luz.

2.3 Paralelismo das faces das maxilas de exteriores

2.3.1 O erro de paralelismo é indicado pela maior das diferenças entre os valores máximo e mínimo registados nas leituras efectuadas no paquímetro.

2.4. Medidas interiores - ensaio de exactidão

2.4.1 Considera-se somente a medição com o anel de 35 mm, ou a materialização com blocos padrão.

2.5 Paralelismo das faces das maxilas de interiores

2.5.1 Utilização de um micrómetro de exteriores e bloco padrão de 20 mm.

2.5.2 O bloco padrão deve ser colocado entre as maxilas de exteriores, para melhor fixação do paquímetro. O paquímetro deve ser travado com o parafuso próprio antes de iniciar as medições.

2.5.3 O erro do paralelismo é indicado pela diferença entre os valores máximo e mínimo registados no micrómetro, resultantes de três medições efectuadas ao longo das maxilas do paquímetro, quando este indica 20,0 mm.

2.6 Haste de medição de profundidades

2.6.1 Utilização de 2 blocos padrão de 25 mm colocados paralelamente na posição de medição vertical, sobre um bloco padrão, que servirá de base de medição (figura 6)

2.6.2 A haste de medição deve ser colocada em medição, medindo como uma profundidade a altura dos blocos, tocando na base.

2.6.3 devem ser efectuadas 3 repetições.

3. Estimativa da Incerteza

Componentes de incerteza:

3.1 Padrões de referência: pode utilizar-se o valor do erro máximo admissível do padrão onde esse erro é maior. Considera-se que o erro máximo admissível (*EMA*) a utilizar é o do Calibrador de Paquímetros e corresponde ao critério de aceitação desse Calibrador. É um valor tipicamente de $\pm 1,5 \mu\text{m}$. A incerteza-padrão é calculada como sendo:

$$u_{x1} = \frac{EMA}{\sqrt{3}}$$

3.2 Resolução do paquímetro. A incerteza-padrão é calculada como sendo:

$$u_{x2} = \frac{\text{resolução}}{\sqrt{12}}$$

3.3 Efeito de Abbe. Não havendo estudos específicos, utilizar um erro associado a este princípio como sendo: Erro de Abbe = $\pm 5 \mu\text{m}$.

A incerteza-padrão é calculada como sendo:

$$u_{x3} = \frac{\text{ErroAbbe}}{\sqrt{3}}$$

3.4 Efeito da Temperatura: Este é um instrumento que é manuseado durante a calibração, pelo que é de esperar que a temperatura entre o paquímetro e o padrão seja sempre mais elevada que a de outros instrumentos. Considera-se um valor de $\Delta T = 5^\circ\text{C}$

Referências e Normas

- DIN 862
- ISO 1 - Temperatura para medições de comprimentos
- Recomendação CNQ 5/2001 - Condições Ambientais em Laboratórios de Calibração
- VIM - Vocabulário Internacional de Metrologia - IPQ 2008
- NP EN ISO/IEC 17025:2005 – Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração

**Calibração de Micrómetros
de exteriores
0-25 mm**

Objectivos:

- Definição das condições para a calibração de micrómetros de exteriores 0-25 mm, faces de trabalho planas.
- Cálculo dos valores dos erros ou correcções

.....

Campo de Aplicação

Este procedimento abrange micrómetros com alcances 0 a 25 mm, com resolução de 0,01 mm e 0,001 mm.
Os micrómetros podem ser de indicação analógica ou de indicação digital.

Documentos envolvidos

1. DIN 863 - Parte 1 – Standard design micrometer callipers for external measurement
Nota: Esta norma é aqui referida como tendo função indicativa, já que ela não se aplica a micrómetros de resolução de 0,001 mm
2. ISO 1:2002 – Geometrical Product Specifications (GPS) - Standard reference temperature for geometrical product specification and verification
3. Guia para a expressão da incerteza de medição nos laboratórios de calibração – IPQ 2005

Material Necessário

- Blocos-padrão.
- Conjunto de 3 ou 4 paralelas ópticas.
- Suporte de Micrómetro
- Impresso para registo dos resultados da calibração onde são feitas todas as anotações de valores obtidos, especificações do equipamento, condições ambiente, comentários, etc.

~

Metodologia

Todos os procedimentos gerais aplicáveis devem ser obrigatoriamente cumpridos.

1. Preparação

- 1.1 Verificação visual do estado geral de conservação do aparelho.
- 1.2 Limpeza cuidada do micrómetro a calibrar, bem como de todo o material que vai ser utilizado no processo de calibração.

2. Calibração

2.1 Exactidão da escala

Micrómetros de 0 – 25 mm

- Fazer a regulação do zero no micrómetro;
- Inserir blocos padrão a ângulos rectos nas faces de medição;
- Efectuar 3 leituras no micrómetro, para cada comprimento definido pelos blocos padrão;
- Valores nominais sugeridos para os blocos padrão de incremento:
2,5 / 5,1 / 7,7 / 10,3 / 12,9 / 15,0 / 17,6 / 20,2 / 22,8 / 25,0 (mm)

2.2 Planeza das faces de medição

- Colocar o plano óptico (ou paralela óptica) sobre a superfície a medir, exercendo uma ligeira pressão;
- Analisar a configuração e nº de franjas de interferência observadas, menosprezar a zona de 0,4 mm da periferia;
- Efectuar o cálculo da planeza através da carta “The Van Keuren Co.” (anexa a este procedimento);

2.3 Paralelismo entre as faces de medição

Micrómetros de 0 – 25 mm

- Utilizar 3 ou 4 paralelas ópticas com dimensões correspondentes a $\frac{1}{3}$ ou $\frac{1}{4}$ de volta do parafuso do micrómetro;
- Inserir a paralela óptica entre as superfícies de medição;
- Com o auxílio da “embraçagem” do micrómetro apertar a paralela óptica, minimizando o nº de franjas observadas numa das faces do micrómetro.
- Fazer a contagem do nº de franjas de interferência observadas na face da paralela óptica, executando este processo nos 3 ou 4 pontos de rotação correspondentes às espessuras das paralelas ópticas
- Considerar o paralelismo como sendo o maior nº de franjas encontrado, multiplicado por 0,3 µm;
- Desprezar a zona de 0,4 mm da periferia da face de medição;

2.4. Força de Medição do Micrómetro

Micrómetros de 0–25 mm

- Colocar a célula do dinamómetro entre as superfícies de medição do micrómetro;
- Apertar o micrómetro com o auxílio da “embraiagem”, fazendo o tambor rodar lentamente 3 vezes;
- Efectuar leitura no dinamómetro;

Tabelas e Normas

Para o ponto 2.1	TOLERÂNCIAS (segundo DIN 863 – Parte 1)			
	Gama de medição (mm)	F _{max} - amplitude máxima do erro (µm)		
	0 a 50	4		
	50 a 100	5		
Para o ponto 2.2	TOLERÂNCIAS (segundo DIN 863 – Parte 1)			
	Erro de planeza ≤ 0,6 µm (não mais que 2 franjas de interferência)			
Para o ponto 2.3	Gama de medição (mm)	Erro de paralelismo		
		de interferência	µm	
		0 a 50	6	2
		50 a 100	10	3
Para o ponto 2.4	TOLERÂNCIAS (segundo DIN 863 - Parte 1)			
	Valor da força deverá estar compreendido entre 5 N e 10 N.			

CALIBRAÇÃO DE UM MICRÓMETRO DIGITAL 0-25 mm

1 – A calibração de um micrómetro com o curso de 25 mm (0-25 mm), de indicação digital, com resolução de 0,001 mm, foi efectuada com blocos-padrão de grau 1 em dimensões nominais de: 2,5 mm, 5,1 mm, 7,7 mm, 10,3 mm, 12,9 mm, 15 mm, 17,6 mm, 20,2 mm, 22,8 mm e 25 mm.

O micrómetro e os blocos-padrão são de aço, com o mesmo coeficiente de expansão térmica do micrómetro. Foi obtida uma boa estabilização térmica, somente perturbada pela manipulação do instrumento e dos padrões.

- L_i é o comprimento indicado no micrómetro à temperatura t ,
 L_S é o comprimento nominal do bloco-padrão,
 L_{\max} é o máximo valor lido pelo micrómetro,
 α é o coeficiente de expansão térmica dos blocos-padrão e do micrómetro, assumido como sendo igual nos dois materiais; $\alpha = (11,5 \pm 0,5) \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
 δt é a máxima diferença de temperatura entre o bloco-padrão e o micrómetro,
 δL_F é a correcção devida à força de medição,
 δL_P é a correcção devida ao paralelismo dos blocos-padrão,

2 – Padrão de referência (L_S): os comprimentos dos blocos-padrão e a respectiva incerteza são dados no respectivo certificado de calibração. Foi feita confirmação, verificando-se que está de acordo com a norma ISO 3650, tal como se indica na tabela seguinte:

comprimento nominal L_S mm	máximo desvio μm	máximo erro de paralelismo μm
$0,5 \leq L_S \leq 10$	$\pm 0,2$	0,16
$10 < L_S \leq 25$	$\pm 0,3$	0,16
$25 < L_S \leq 50$	$\pm 0,4$	0,18

3 – **Temperatura (δt):** durante a calibração a manipulação do instrumento e dos padrões é produzido aquecimento que leva à máxima diferença de temperatura entre os meios em uso de 2 K (distribuição rectangular). Considera-se que a calibração foi feita a uma temperatura muito próxima dos 20 °C.

4 – **Força de medição (δL_F):** A força de medição é em princípio independente do operador, dado existir uma embraiagem que limita o binário de aperto e, consequentemente, a força exercida. Um estudo prévio permitiu que se considerasse este componente como uma incerteza tipo B rectangular, com limites definidos em 1 μm .

5 – **Repetibilidade do micrómetro (L_i):** o estudo (tipo A) da repetibilidade do micrómetro, em 5 repetições no bloco-padrão de 25 mm, deu uma variância experimental de 0,397 μm^2 .

6 – **Resolução** = 0,001 mm

O CÁLCULO DA INCERTEZA EXPANDIDA É RESOLVIDO PARA $L_i = 25 \text{ mm}$

I – MODELO MATEMÁTICO:

$$\delta L_i = L_i - L_s + L_s \alpha \delta t + \delta L_f + \delta L_p + \delta_{\text{res}}$$

II – CÁLCULOS A EFECTUAR

- As unidades a utilizar são **mm** (milímetros) e **K** (kelvin)
- Como o Guia de Incertezas refere que o resultado deve ser apresentado com não mais que 2 algarismos significativos, todos os cálculos intermédios têm que ter pelo menos mais um algarismo significativo, ou seja, pelo menos três.

A) INCERTEZA-PADRÃO ASSOCIADA ÀS TOLERÂNCIAS DOS BLOCOS-PADRÃO (L_s)

Trata-se de uma incerteza tipo B, rectangular, com limites dados pelo erro máximo admissível da ISO 3650 (ver tabela do ponto 2 dos dados). Utilizam-se os dados relativos a $L_i = 25$ mm.

$$u(L_s) = 0,0003 / \sqrt{3} = \mathbf{1,73 \times 10^{-4} \text{ mm}}$$

B) INCERTEZA-PADRÃO ASSOCIADA À DIFERENÇA DE TEMPERATURA ENTRE O MICRÓMETRO E OS BLOCOS-PADRÃO (δt)

Trata-se de uma incerteza tipo B, rectangular, como limites definidos por 2 K (é a máxima diferença entre os blocos-padrão e o micrómetro).

$$u(\delta t) = 2 / \sqrt{12} = \mathbf{0,577 \text{ K}}$$

C) INCERTEZA-PADRÃO ASSOCIADA AO EFEITO DA FORÇA EXERCIDA PELO LIMITADOR DE BINÁRIO DO MICRÓMETRO (δl_f)

A informação que temos indica tratar-se de uma incerteza tipo BR e o valor da incerteza-padrão é:

$$u(\delta l_f) = 1 \times 10^{-3} / \sqrt{12} = \mathbf{2,89 \times 10^{-4} \text{ mm}}$$

D) INCERTEZA-PADRÃO ASSOCIADA AO ERRO DE PARALELISMO DOS BLOCOS-PADRÃO (δl_p)

Trata-se de uma incerteza tipo B, rectangular, como limites definidos por $0,16 \times 10^{-3}$ mm

$$u(\delta t) = (0,00016/2) / \sqrt{3} = \mathbf{4,62 \times 10^{-5} \text{ mm}}$$

E) INCERTEZA-PADRÃO DA DISPERSÃO DE LEITURAS (REPETIBILIDADE L_i)

A variância experimental é um dado, sendo $s^2 = 0,397 \mu\text{m}^2$

A incerteza-padrão experimental da media é:

$$u(L_i) = (s^2 / n)^{1/2} \text{ ou } u(L_i) = (0,397 / 5)^{1/2} = 0,282 \mu\text{m} = \mathbf{2,82 \times 10^{-4} \text{ mm}}$$

F) INCERTEZA-PADRÃO DA RESOLUÇÃO (L_{resol})

A resolução é de 0,001 mm

$$u(L_{\text{resol}}) = 0,001 / \sqrt{12} = \mathbf{0,289 \times 10^{-4} \text{ mm}}$$

G) INCERTEZA-PADRÃO DEVIDA À INCERTEZA DO COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA

$$u(L_{\alpha}) = 0,5 \times 10^{-6} / \sqrt{3} = \mathbf{2,89 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}}$$

H) CÁLCULO DOS COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE DOS COMPONENTES

Todos os coeficientes de sensibilidade têm um valor igual à unidade, excepto 2:

- o que se refere à temperatura
- o que se refere ao coeficiente de expansão térmica

$$\frac{\partial L}{\partial(\delta t)} = \alpha \times L_s = 11,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \times 25 \text{ mm} = \mathbf{2,88 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1} \text{ mm}}$$

$$\frac{\partial L}{\partial(\delta \alpha)} = L \times \delta t = 25 \times 1 = \mathbf{25 \text{ mm K}}$$

Há, no entanto um outro coeficiente de sensibilidade que nós consideramos como sendo 1, mas que tem um valor ligeiramente diferente da unidade:

$$\frac{\partial L}{\partial(L_s)} = -1 + \alpha \times \delta t = -1 + 11,5 \times 10^{-6} \times 0,5 = -0,9999885 = \mathbf{-1,00 \text{ (adimensional)}}$$

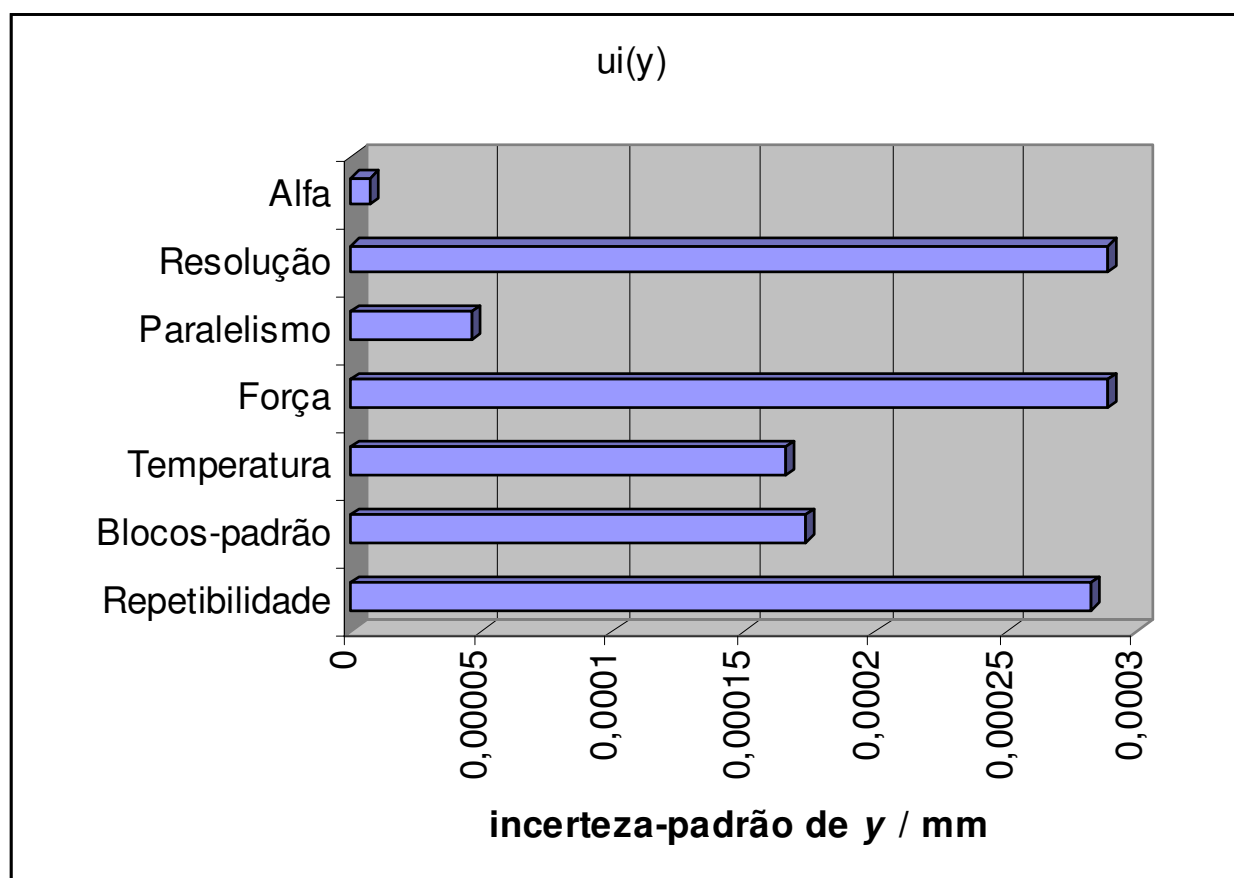
(Lembrar que estamos a trabalhar sempre com 3 algarismos significativos)

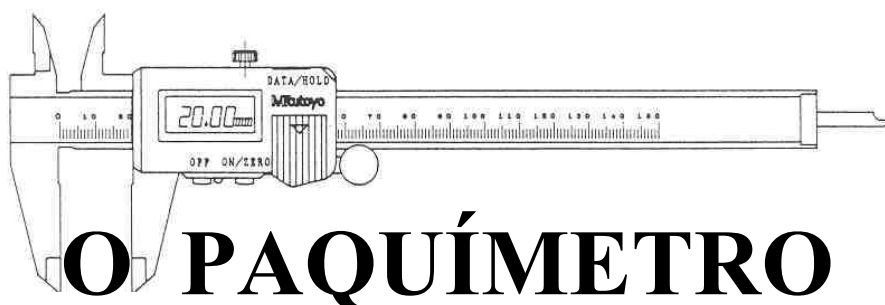
III - Preencher o quadro seguinte e estimar a incerteza expandida com cálculo dos graus de liberdade.

Componente X_i	tipo de incerteza	incerteza-padrão $u(x_i)$	coeficiente de sensibilidade c_i	quadrado da contribuição para a incerteza $u^2_i(y)$	GL
L_i (Repetibilidade)	A	$2,82 \times 10^{-4}$ mm	1	$7,94 \times 10^{-8}$ mm ²	4
L_S (blocos-padrão)	B-R	$1,73 \times 10^{-4}$ mm	-1	$3,000 \times 10^{-8}$ mm ²	500
δt (Temperatura)	B-R	0,5774 K	$2,88 \times 10^{-4}$ K ⁻¹ mm	$2,755 \times 10^{-8}$ mm ²	500
δL_F	B-R	$2,89 \times 10^{-4}$ mm	1	$8,333 \times 10^{-8}$ mm ²	500
δL_P	B-R	$4,619 \times 10^{-5}$ mm	1	$2,133 \times 10^{-9}$ mm ²	500
δL_{resol}	B-R	$2,89 \times 10^{-4}$ mm	1	$8,333 \times 10^{-8}$ mm ²	500
$\delta \alpha$	B-R	$2,89 \times 10^{-7}$ K ⁻¹	25 K mm	$5,208 \times 10^{-11}$ mm ²	500
$u^2(y)$				$3,058 \times 10^{-7}$ mm ²	
$u(y)$				$5,530 \times 10^{-4}$ mm	
$v(ef)$				59,3	
k				2,04	
U				$\pm 0,0011$ mm	
$U_{relativa}$				$\pm 4,5 \times 10^{-5}$	

Notar que o valor da incerteza do coeficiente de expansão térmica é perfeitamente desprezável

$$U = \pm(2,04 \times 5,53 \times 10^{-4} \text{ mm}) = \pm 1,1 \times 10^{-3} \text{ mm} = \pm 1,1 \text{ } \mu\text{m}$$





O PAQUÍMETRO

Estimativa da Incerteza na Calibração

CARLOS SOUSA
2011

ESTIMATIVA DA INCERTEZA CALIBRAÇÃO DE UM PAQUÍMETRO

Nota:

Este texto tem dois anexos, que são referenciados no texto entre parênteses rectos []

As expressões principais são numeradas entre chavetas { }

Um paquímetro [1] digital (resolução [2] de 0,01 mm) foi calibrado com calibrador [2] e com blocos-padrão (todo o equipamento é de aço, tendo idêntico coeficiente de expansão térmica).

A função de erro δL de indicação do paquímetro a $T_o = 20^\circ\text{C}$ é [2]:

$$\delta L = L_x - L_s + L_s \cdot \alpha \cdot \delta T \quad \{1\}$$

Valores lidos nas maxilas de exteriores:

Leituras em mm					
Referência	1ª Leitura	2ª Leitura	3ª Leitura	4ª Leitura	5ª Leitura
2,500	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
7,700	7,70	7,70	7,71	7,70	7,70
20,200	20,20	20,21	20,20	20,20	20,20
50,000	49,99	50,00	50,00	50,00	50,00
100,001	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00
150,002	150,01	150,01	149,99	150,01	150,00

Dados

L_x = indicação do paquímetro à temperatura T

L_s = comprimento dos valores de referência (blocos-padrão e calibrador)

$U_s = \pm 1,4 \mu\text{m}$ (é a incerteza do calibrador com $k=2$, considerada uma distribuição normal; a incerteza dos blocos-padrão é sempre menor que $1 \mu\text{m}$, pelo que a desprezamos)

α = coeficiente de expansão térmica do aço ($11,5 \text{ E-}06 \text{ K}^{-1}$)

δT = diferença de T entre o paquímetro e o calibrador ($\delta T = \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$)

δL_{oper} = reprodutibilidade, operadores (inclui o erro de Abbe [1]); o estudo feito indica que se trata de uma incerteza tipo B, rectangular, com limites em $\pm 0,01 \text{ mm}$.

Nota 1 – Para o cálculo da incerteza considera-se somente o valor de medição máximo, 150 mm, que é onde ocorre a maior dispersão

Nota 2 – exceptuando a variável δT , todas as outras variáveis X_i levam a coeficientes de sensibilidade iguais à unidade

Nota 3 - As variáveis são consideradas como não correlacionadas

A incerteza expandida da calibração foi calculada recorrendo ao factor de expansão k através da determinação dos graus de liberdade efectivos.

Componentes de incerteza para as maxilas de exteriores:

i	Descrição do componente	Tipo de incerteza
1	Repetibilidade das medições efectuadas (5 leituras repetidas) ¹	A
2	Incerteza do padrão de referência	B - normal
3	Resolução do paquímetro	B - rectangular
4	Diferença de temperatura entre o paquímetro e os padrões	B - rectangular
5	Reprodutibilidade dos operadores (inclui o erro de Abbe)	B - rectangular

¹ Embora o procedimento permita 3 repetições das leituras, para este estudo consideraram-se 5 repetições

Unidade de comprimento o milímetro (mm).

Unidade de temperatura o kelvin (K).

De notar que quando se trabalha com diferenças de temperaturas, o kelvin é igual ao grau celsius (isto é aplicável tanto a erros como a incertezas).

1) - Cálculo da incerteza-padrão devida à dispersão de resultados L_x (repetibilidade)

É uma incerteza tipo A, com leituras repetidas 5 vezes.

O pior desvio padrão encontrado foi na calibração a 150 mm.

A variância experimental da média é dada pela expressão:

$$u^2(\text{repetib.}) = (\text{variância experimental}) / (\text{quantidade de leituras})$$

que é equivalente a

$$u^2(\text{rep}) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)} \quad \{2\}$$

O valor que procuramos é a **incerteza-padrão experimental da média**, que é um indicador que nos "informa" o quanto podemos confiar no valor obtido para a média. Pequeno número de observações leva a uma média pouco credível; daí que esta incerteza-padrão tende a ser menor quanto maior for o número de observações repetidas (notar o valor "n" a multiplicar por "n-1" no denominador). Essa incerteza padrão experimental da média é a raiz quadrada do valor da expressão {2}

$$u(\text{rep}) = \sqrt{u^2(\text{rep})} \quad \{3\}$$

(Ver anexo 2, página 1, para mais detalhe)

$$u(\text{repetib.}) = \boxed{0,004 \text{ mm}}$$

O **coeficiente de sensibilidade** relativo ao estudo de repetibilidade, é a derivada parcial da função {1} relativamente a L_x , ou seja:

$$C_{\text{rep}} = \left(\frac{\partial f}{\partial (L_x)} \right) = 1 \quad \{4\}$$

2) - Cálculo da incerteza padrão relativa ao L_s (L_s significa "comprimento do padrão" [standard])

Trata-se de uma incerteza tipo B normal (B-N), que nos é fornecida pelo certificado de calibração do calibrador de paquímetros sob a forma de $U = \pm 1,4 \mu\text{m}$. Naquele certificado, o cálculo foi feito com base num desvio-padrão (incerteza-padrão) e foi utilizado um coeficiente de expansão igual a 2 (a informação dada diz-nos que a distribuição é considerada normal, o que corresponde a $k=2$).

Assim, como o cálculo foi obtido com a expressão $U=\pm[2 \times u(\text{padrão})]$, para obter o valor do $u(\text{padrão})$ temos que dividir o valor de U por 2:

$$u(\text{padrão}) = 0,0014 / 2 \text{ mm}$$

$$u(\text{padrão}) = \boxed{0,0007 \text{ mm}}$$

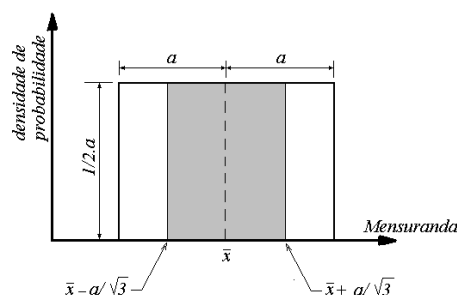
O **coeficiente de sensibilidade** relativo ao padrão (calibrador), é a derivada parcial da função {1} relativamente a L_s , ou seja:

$$c_{L_s} = \left(\frac{\partial f}{\partial (L_s)} \right) \approx 1 \quad \{5\}$$

$$c_{L_s} = \boxed{1}$$

3) Cálculo da incerteza-padrão da diferença de temperatura

É uma incerteza tipo B rectangular (B-R), pois somente conhecemos limites relativos à diferença de temperatura entre o instrumento (paquímetro) e o padrão (calibrador).



O valor da variância [$u^2(x_i)$] da uma incerteza tipo B rectangular é dada pela seguinte expressão:

$$u^2(x_i) = \frac{1}{12} (a_+ - a_-)^2 \quad \{6\}$$

Mas se $a_+ - a_- = 2a$, então teremos:

$$u^2(x_i) = \frac{1}{12} (2a)^2 = \frac{2^2}{12} \cdot a^2 = \frac{1}{3} \cdot a^2$$

$$u^2(x_i) = \frac{1}{3} a^2 \quad \{7\}$$

No nosso caso $a = 2 \text{ K}$, pelo que teremos

$$u^2(\delta T) = 2^2 / 3 \text{ K}^2 = 1,333 \text{ K}^2$$

Mas o que procuramos é a incerteza-padrão, ou seja, a raiz quadrada do valor da variância obtida.

$$u(\delta T) = \boxed{1,155 \text{ K}}$$

Notar que neste caso desprezamos a temperatura a que decorreu a calibração, no pressuposto de que essa temperatura estava estabilizada. Sendo assim, a variação de comprimento que ocorre no paquímetro é idêntica variação de comprimento que ocorre no calibrador, a menos a diferença de temperatura entre eles, que sabemos ser de $\pm 2 \text{ K}$. A temperatura de referência para medições de comprimentos é de 20°C (norma ISO 1) [2].

O **coeficiente de sensibilidade** é a derivada parcial da função relativamente à grandeza em apreço. Neste caso a grandeza é a temperatura, mais propriamente a diferença de temperatura (δT). A derivada da função δL em ordem à variável δT leva a que todas as variáveis que não sejam δT são iguais a zero, dado serem agora tratadas como constantes, pelo que somente o nó $L_s \cdot \alpha \cdot \delta T$ é passível de derivação diferente de zero. Pelas regras de derivação de uma expressão do tipo $a \cdot x^n$ teremos:

$$(a \cdot x^n)' = n \cdot a \cdot x^{(n-1)} \text{ onde } a \text{ é equivalente a } L \cdot \alpha$$

pelo que:

$$c_{\delta T} = \left(\frac{\partial f}{\partial (\delta T)} \right) = L \cdot \alpha = 150 \times 11,5 \times 10^{-6} \text{ mm.K}^{-1} \quad \{8\}$$

$$c_{\delta T} = \boxed{1,725 \times 10^{-3} \text{ mm.K}^{-1}}$$

4) Cálculo da incerteza-padrão da resolução do paquímetro (0,01 mm)

É mais uma incerteza tipo B rectangular (B-R), sendo “2a” = 0,01 mm

$$u(\text{resolução}) = (0,01/2) / (3)^{1/2} \text{ mm} = \boxed{0,00289 \text{ mm}}$$

O **coeficiente de sensibilidade** relativo à resolução é:

$$C_{\text{resol.}} = \left(\frac{\partial f}{\partial (\text{resol})} \right) = 1 \quad \{9\}$$

$$C_{\text{resol.}} = \boxed{1}$$

5) - Cálculo da incerteza padrão da reprodutibilidade (operadores e outros erros)

Através de um estudo verificou-se tratar-se de uma incerteza tipo B, rectangular, sendo o valor da incerteza padrão determinado por:

$$u(\text{reprodutibilidade}) = 0,01 / \sqrt{3} = \boxed{0,00577 \text{ mm}}$$

O **coeficiente de sensibilidade** relativo à reprodutibilidade é:

$$C_{\text{reprod.}} = \left(\frac{\partial f}{\partial (\text{reprod.})} \right) = 1 \quad \{10\}$$

$$C_{\text{reprod.}} = \boxed{1}$$

Tabela 1

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
	Grandeza de entrada X_I	Tipo de incerteza	Incerteza-padrão $u(x_i)$	Coeficiente de sensibil. c_i	Contribuição p/ a incerteza $u_i^2(y)$	Graus de liberd.
1	Repetib. (Repetibilidade)	A	$4,00 \times 10^{-3}$ mm	1	$1,60 \times 10^{-5}$ mm ²	4
2	Calibrador	B-N	$7,00 \times 10^{-4}$ mm	1	$4,90 \times 10^{-7}$ mm ²	50
3	Temperatura	B-R	1,15 K	$1,73 \times 10^{-3}$ mm.K ⁻¹	$3,97 \times 10^{-6}$ mm ²	∞
4	Resolução	B-R	$2,89 \times 10^{-3}$ mm	1	$8,33 \times 10^{-6}$ mm ²	∞
5	Reprodutibilidade	B-R	$5,77 \times 10^{-3}$ mm	1	$3,33 \times 10^{-5}$ mm ²	∞
8				$u^2(y) =$	$6,209 \times 10^{-5}$ mm ²	

OU SEJA,

$$u(y) = \sqrt{6,209 \times 10^{-5}} = 7,88 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$u(y) = 7,9 \text{ } \mu\text{m}$$

Para um $k=2$ teremos:

$$U = \pm(2 \times 7,9) \text{ } \mu\text{m} = \pm 16 \text{ } \mu\text{m}$$

O cálculo dos graus de liberdade efectivos utiliza a equação de Welch-Satterthwaite, que tem a seguinte representação:

$$v_{ef} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad \{11\}$$

$u(y)$ é retirado da Tabela 1, de E8, onde temos o quadrado do valor procurado. Como temos $u^2(y)$ e os valores parciais, $u_i(y)$, também estão elevados ao quadrado, podemos representar a equação Welch-Satterthwaite, como segue:

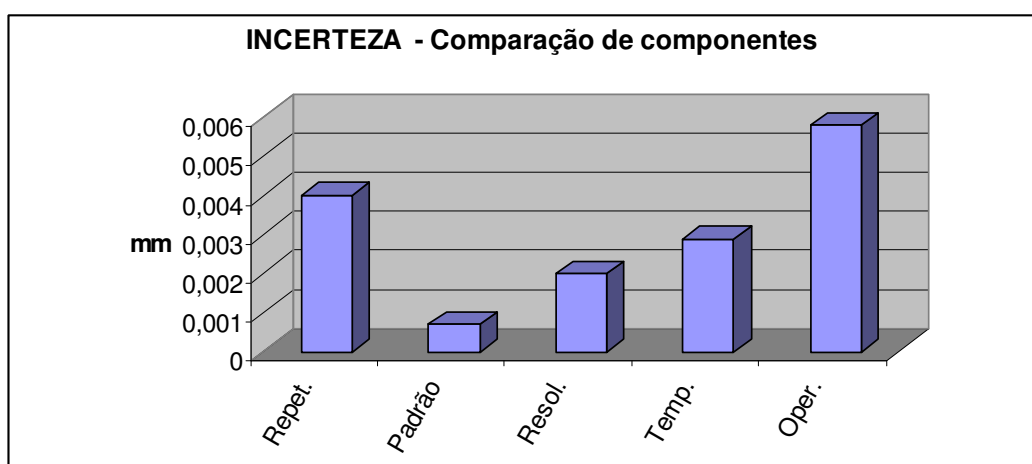
$$v_{ef} = \frac{(u^2(y))^2}{\sum_{i=1}^N \frac{(u_i^2(y))^2}{v_i}}$$

$$v_{ef} = \frac{(6,209 \times 10^{-5})^2}{\frac{(1,60 \times 10^{-5})^2}{4} + \frac{(4,9 \times 10^{-7})^2}{50} + 0 + 0 + 0} = 60 \quad \{12\}$$

Nota: no denominador da expressão {12} aparecem duas parcelas iguais a zero; isto resulta da divisão pelo número de graus de liberdade que, nestes dois casos, são de valor infinito.

Assim, como $v_{ef} = 60$, teremos $k=2,0$ (Pela tabela de graus de liberdade da distribuição de t-Student, daria 2,0425 o que, arredondando a uma décima, dá 2,0).

Verifica-se que o valor do factor de expansão não sofre alteração pela utilização do n° de graus de liberdade.



Anexo 1 (de incerteza em paquímetro)

O PAQUÍMETRO

Este tipo de instrumento também é conhecido por craveira, compasso de correição e “péclisse” (calão industrial derivado de francês *pied à coulisse*.).

Designações em outras línguas:

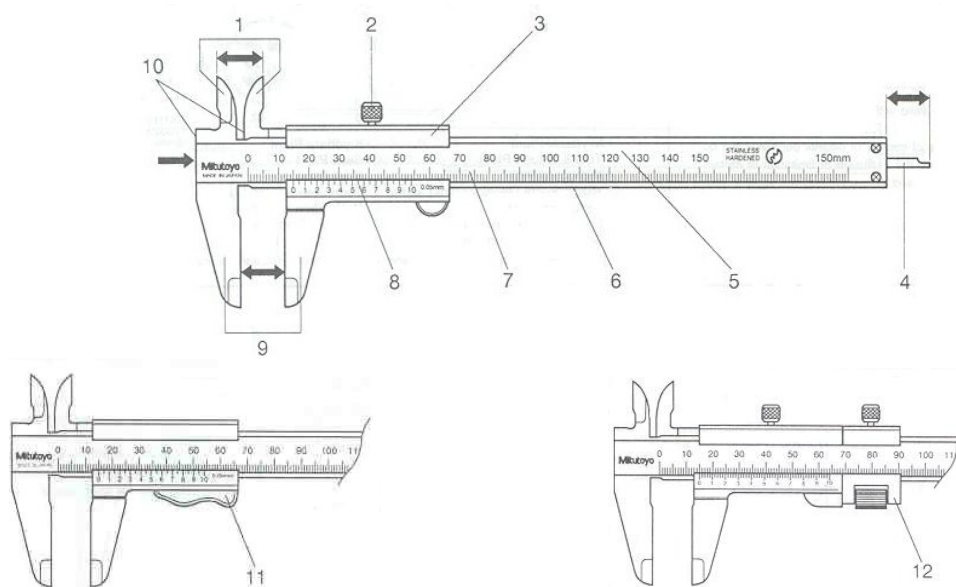
Castelhano: pie de rey (também calibre ou calibrador, mas estes termos são desaconselhados)

Francês: pied à coulisse

Inglês: vernier caliper

Alemão: Meßschieber

Paquímetro analógico: nomenclatura



- 1 – Maxilas para medição de interiores
- 2 – Dispositivo bloqueador
- 3 - Cursor
- 4 – Haste para medição de profundidades
- 5 – Régua/corpo
- 6 – Superfície de referência
- 7 – Escala principal
- 8 – Nónio
- 9 – Maxilas para medição de exteriores
- 10 – Superfícies de medição de desnívies
- 11 - Mola de fixação
- 12 - Dispositivo de ajuste fino

O Nónio

Os primeiros paquímetros foram idealizados com o auxiliar de leitura denominado NÓNIO, que permite melhorar a resolução de leitura para 0,1 mm, 0,05mm ou 0,02 mm.

O nóvio foi inventado pelo matemático português Pedro Nunes em 1550, inicialmente aplicado à medição de ângulos (no sextante, por exemplo), tendo posteriormente este auxiliar de leitura sido melhorado por Pierre Vernier em 1631.

O nóvio linear consiste numa escala solidária a um cursor que tem um movimento de translação ao longo de uma escala. Assim temos duas escalas, a móvel (do cursor) e a fixa (da régua do instrumento).

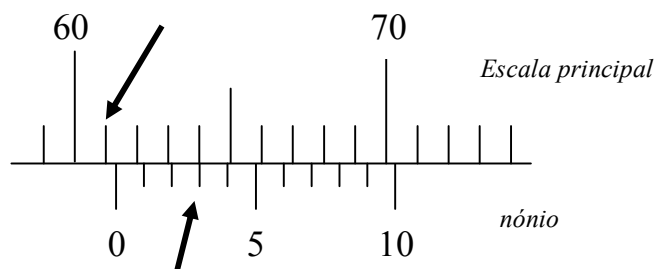
No nóvio primitivo, temos 10 divisões na escala móvel, cujo comprimento total corresponde a 9 divisões da régua principal. Assim, cada divisão do nóvio é mais pequena $\frac{1}{10}$ do que uma divisão da escala principal. Quando se tratar de nóvio de 20 ou 50 divisões (a que correspondem 19 ou 49 divisões na escala principal) teremos respectivamente $\frac{1}{20}$ e $\frac{1}{50}$ ampliações.

A resolução do nóvio é determinada pelo quociente:

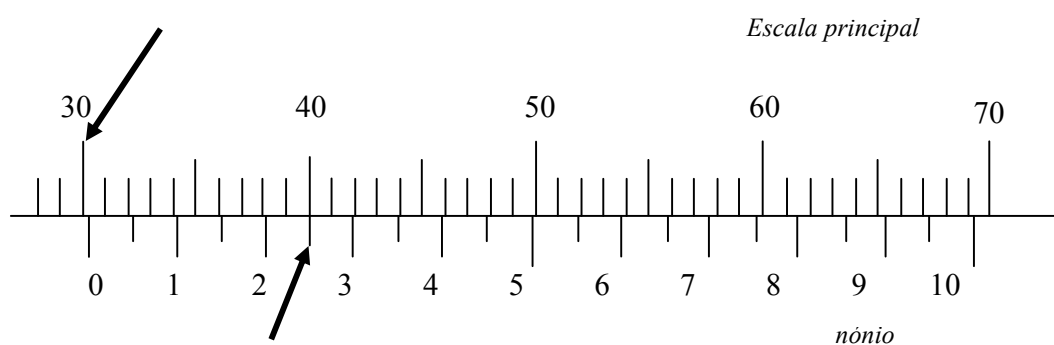
$$\frac{\text{diferença entre a escala principal e o nóvio (em mm)}}{\text{número de divisões do nóvio}}$$

EXEMPLOS

Nºs de divisões no nóvio	Distância no nóvio	Distância na escala principal	Resolução
10	9 mm	10 mm	$(10 - 9) / 10 = 0,1 \text{ mm}$
20	39 mm	40 mm	$(40-39) / 20 = 0,05 \text{ mm}$
50	49 mm	50 mm	$(50-49) / 50 = 0,02 \text{ mm}$



Nónio de 1/10 mm. O valor da medição é 61,3 mm

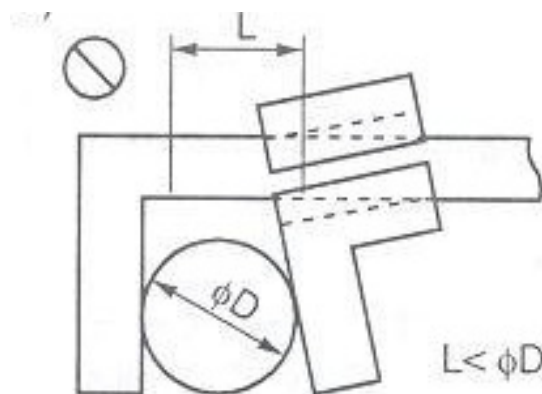


Nónio de 1/20 mm. O valor da medição é 30,25 mm

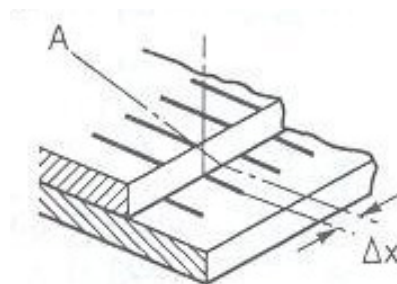
Utilização do paquímetro

O paquímetro é um instrumento que não obedece ao princípio de Abbe². Assim, a força exercida durante a medição é sempre causadora de um erro que pode ser ampliado devido a que o alinhamento do eixo do paquímetro não é o mesmo do eixo da medição. Recomenda-se que a medição seja feita o mais próximo possível da base das maxilas de medição.

² Ernest Abbe (séc. XIX), postulou que um instrumento deve ter o seu eixo de movimento coaxial com o eixo da peça

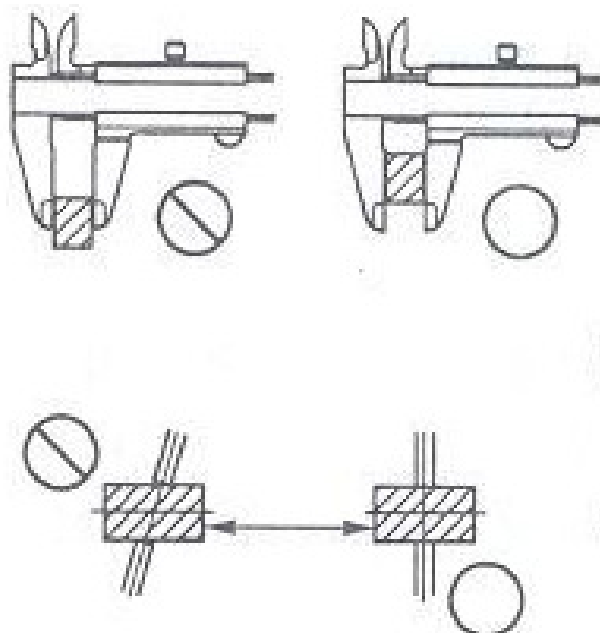
Efeito do erro de *ABBE*


Em paquímetros onde o erro de paralaxe não é minimizado por concepção construtiva, este tipo de erro pode ser significativo em condições de menor cuidado.



Erro de paralaxe

Nas medições de exteriores deve-se procurar colocar a peça o mais próximo possível da régua e assegurar que as superfícies das maxilas contactam perfeitamente com as superfícies da peça. Este cuidado, além de minimizar o efeito do erro de *ABBE* permite melhor acomodação da peça relativamente às maxilas.



Exemplos de medições de exteriores (o símbolo  indica método não recomendado)

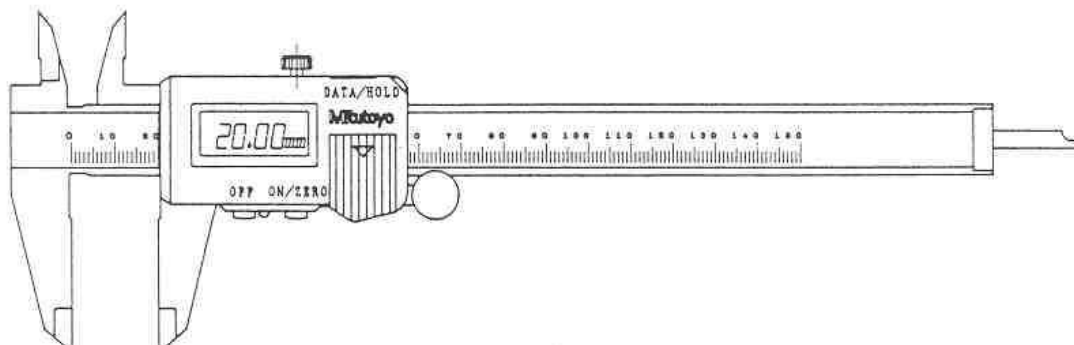
Paquímetros Digitais

Estruturalmente são idênticos aos paquímetros de indicação analógica.

A indicação é feita de modo digital, utilizando um sistema de detecção de deslocamento tipo capacitivo. O indicador é tipicamente de resolução de 0,01 mm, sendo necessário fazer o zero antes de iniciar as medições, salvo em paquímetros especiais chamados de **indicação absoluta**, onde o valor de zero é memorizado, mesmo após desligar o paquímetro.

Na maioria dos paquímetros temos, como cuidado adicional, que proceder à medição com velocidade de movimento não muito alta, dado que podem ocorrer erros para velocidades elevadas.

Uma vantagem adicional nos paquímetros digitais relaciona-se com a capacidade que estes têm para transmitir dados, sendo possível utilizar um computador pessoal para a respectiva aquisição. São também utilizados para controlo estatístico.



Anexo 2 (de incerteza em paquímetro)

CÁLCULO DO DESVIO-PADRÃO DAS 5 LEITURAS OBTIDAS

<i>i</i>	1	2	3	4	5
leitura / mm	150,01	150,01	149,99	150,01	150,00

<i>i</i>	L_i / mm	$(L_i - L_{\text{médio}})^2 / \text{mm}^2$
1	150,01	3,6E-05
2	150,01	3,6E-05
3	149,99	1,96E-04
4	150,01	3,6E-05
5	150,00	1,6E-05
SOMAS	750,02	0,00032

Média aritmética das leituras: $L_{\text{médio}} = 750,02 / 5 = 150,004 \text{ mm}$

$$\text{Variância experimental: } s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (L_i - L_{\text{médio}})^2}{n-1} = 0,00032 / 4 \text{ mm}^2 = 8 \times 10^{-5} \text{ mm}^2$$

e como o desvio-padrão experimental é igual à raiz quadrada da variância,

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - L_{\text{médio}})^2}{n-1}}$$

$$s = (8 \times 10^{-5})^{1/2} = 0,008944 \text{ mm}$$

e a incerteza padrão experimental da média será

$$u_i = s / \sqrt{5}$$

$$u_i = 0,008944 / \sqrt{5} = \mathbf{0,004 \text{ mm}}$$

RESOLUÇÃO (DE UM DISPOSITIVO INDICADOR)

Menor diferença entre indicações de um dispositivo indicador que se podem distinguir significativamente.

NOTAS:

1. Para um dispositivo indicador digital, é a diferença de indicação que corresponde à alteração de uma unidade do algarismo menos significativo.
2. O conceito aplicado a dispositivos analógicos pode corresponder a uma estimativa.
3. O conceito aplica-se também a um dispositivo registador.

(5.12 do Vocabulário Internacional de Metrologia, 1996 - IPQ)

O cálculo da incerteza padrão associada à resolução é resolvido pela expressão que diz que para uma distribuição rectangular o valor da variância é:

$$u^2_{BR} = a^2 / 3$$

sendo a a semi-distância da amplitude total da distribuição rectangular. A dúvida que se põe é se a resolução corresponde à amplitude global ou se corresponde à semi-distância. A resposta é dada pelo “Guide to The Expression of Uncertainty in Measurement”, 1995, de BIPM, ISO, OIML, ... , como se pode ver pelo extracto da página 54 daquele guia:

Annex F: Practical guidance on evaluating uncertainty

F.2.2 Mathematically determinate distributions

F.2.2.1 The resolution of a digital indication

One source of uncertainty of a digital instrument is the resolution of its indicating device. For example, even if the repeated indications were all identical, the uncertainty of the measurement attributable to repeatability would not be zero, for there is a range of input signals to the instrument spanning a known interval that would give the same indication. If the resolution of the indicating device is δx , the value of the stimulus that produces a given indication X can lie with equal probability anywhere in the interval $X - \delta x/2$ to $X + \delta x/2$. The stimulus is thus described by a rectangular probability distribution (see 4.3.7 and 4.4.5) of width δx with variance $u^2 = (\delta x)^2 / 12$, implying a standard uncertainty of $u = 0,29\delta x$ for any indication.

Thus a weighing instrument with an indicating device whose smallest significant digit is 1 g has a variance due to the resolution of the device of $u^2 = (1/12) \text{ g}^2$ and a standard uncertainty of $u = (1/\sqrt{12}) \text{ g} = 0,29 \text{ g}$.

F.2.2.1 – Resolução de uma indicação digital

Uma fonte de incerteza de um instrumento digital é a resolução da respectiva indicação. Por exemplo, mesmo que as indicações de repetibilidade sejam idênticas, a incerteza da medição atribuída à repetibilidade pode não ser zero, pois há um intervalo no sinal de entrada a que não corresponde qualquer variação na indicação (saída). Se a resolução no dispositivo indicador for δx , o valor do estímulo que produz uma dada indicação X pode localizar-se com igual probabilidade algures no intervalo $X - \delta x/2$ a $X + \delta x/2$. O estímulo é assim descrito por uma distribuição de probabilidade rectangular com amplitude δx e com uma variância $u^2 = (\delta x)^2 / 12$, o que implica uma incerteza-padrão de $u = 0,29\delta x$.

Assim, um instrumento de pesagem com um dispositivo indicador cujo dígito menos significativo é 1 g tem uma variância devida à resolução do indicador digital de $u^2 = (1/12) \text{ g}^2$ e uma incerteza-padrão de $u = (1 / \sqrt{12}) \text{ g} = 0,29 \text{ g}$.

Calibrador (de paquímetros)

Equipamento utilizado em calibração de paquímetros como alternativa à utilização de blocos-padrão. Com este calibrador é possível efectuar a calibração de um modo muito mais rápido dado que a limpeza e utilização do calibrador é de execução muito mais simples e imediata. O calibrador é constituído por um corpo onde estão inseridos blocos-padrão com dimensões previamente determinadas para correcta calibração de paquímetros. São conhecidos calibradores das marcas KOBA e MITUTOYO.



Temperatura de referência para medição de comprimentos

A temperatura de referência para medição de comprimentos é definida pela norma ISO 1, sendo essa temperatura $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Assim, qualquer indicação de uma dimensão, por mais exacta que seja, é assumida como tendo sido resultado de uma medição que foi feita à $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Estimativa de incerteza em paquímetro de 150 mm

Método dinâmico

Este método completa o método do Anexo 10

Neste método recorre-se a uma folha de cálculo onde se introduzem todos os parâmetros de entrada, fazendo tantas folhas quantos valores de dimensão a calibrar.

No exemplo em causa – calibração de um paquímetro para as dimensões, em mm:

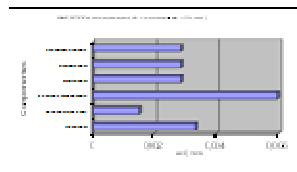
2,5 – 7,7 – 20,2 – 50,0 – 100,0 – 150,0

Fizeram-se os cálculos para cada uma das dimensões e estimaram-se as incertezas associadas para cada dimensão.

Fazendo alteração aos dados de entrada (que estão em células coloridas) o resultado é apresentado imediatamente, com alteração no gráfico de análise comparativa do peso das componentes para a incerteza final (figura 1).

Estimativa de incerteza em paquímetro de 150 mm

Método dinâmico



Resolução	0,01	
Valor da L (mm) / mm	150	
U do calibrador / mm	3	$3 + 0,0 \times L$ $\mu\text{m com } L \text{ em m}$
ΔW	$1,15 \text{E}-05$	K^{-1}
Valor das leituras / mm		
1	150,01	
2	150,01	
3	150,02	
Desvio médio	3	$-0,00 \times L$ $\mu\text{m com } L \text{ em m}$
$\text{coeficiente } K =$	3	
$\Delta W / \text{CITV} / \text{mm} =$	0,005	
U (incerteza expandida) $\pm 0,017 \text{ mm}$		

#	Componente/descrição	Valor da grandeza / Incerteza-padrão
1	RESOLUÇÃO VALOR ESTIMADO DA GRANDEZA DE ENTRADA $1 (\mu\text{m}) = 150,015 \text{ mm}$ Foram feitas 3 medições repetidas. Trata-se de uma incerteza tipo A INCERTEZA PADRÃO $u_A = \frac{1}{3} \Delta W (3) \Rightarrow u_A = 3,333 \text{E}-03 \text{ mm}$	A
2	CALIBRADOR DE PAQUÍMETRO O calibrador do paquímetro tem $U = \pm (0,7 \text{ a } 1,1) \mu\text{m}$, com L em m ($0 \leq L \leq 150$). Trata-se de uma incerteza tipo B, normal. INCERTEZA PADRÃO $u_B = \frac{U}{\sqrt{2}} \Rightarrow u_B = 1,500 \text{E}-03 \text{ mm}$	BN
3	EFEITO DA TEMPERATURA Um estudo prévio permite considerar que a temperatura entre o paquímetro e os meios da calibração variam (ver dados de entrada). Trata-se de uma incerteza tipo B, retangular. INCERTEZA PADRÃO $u_B = \frac{(\Delta W / \text{CITV})}{\sqrt{3}} \Rightarrow u_B = 3,401 \text{E}-03 \text{ K}$	BR
4	RESOLUÇÃO A resolução é um dado de entrada. Trata-se de uma incerteza tipo B, retangular. INCERTEZA PADRÃO $u_B = \frac{U}{\sqrt{2}} \Rightarrow u_B = 2,887 \text{E}-03 \text{ mm}$	BR
5	REPRODUTIBILIDADE A reprodutibilidade é um dado de entrada. Trata-se de uma incerteza tipo B, retangular. INCERTEZA PADRÃO $u_B = \frac{(\Delta W / \text{CITV})}{\sqrt{3}} \Rightarrow u_B = 2,887 \text{E}-03 \text{ mm}$	BR
COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE RELATIVAMENTE À TEMPERATURA		
$\text{SR} = 11,3 \text{E}-03 \text{ K}^{-1}$		$\Delta W / \text{CITV} (\text{mm/K}) = 1,72 \text{E}-05$

Figura 1 – Quadro de entrada de dados e visualização de resultado com visualização gráfica

Estimativa de incerteza em paquímetro de 150 mm

Método dinâmico

Os gráficos para 2,5 mm até 150 mm têm as seguintes configurações:

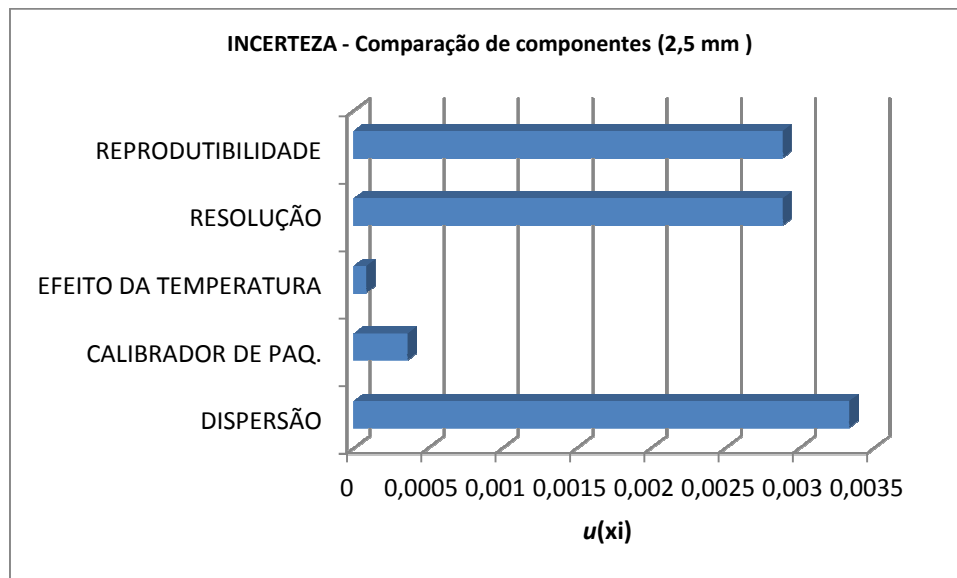


Figura 2 - Para $L=2,5$ mm $\Rightarrow U=\pm 0,011$ mm

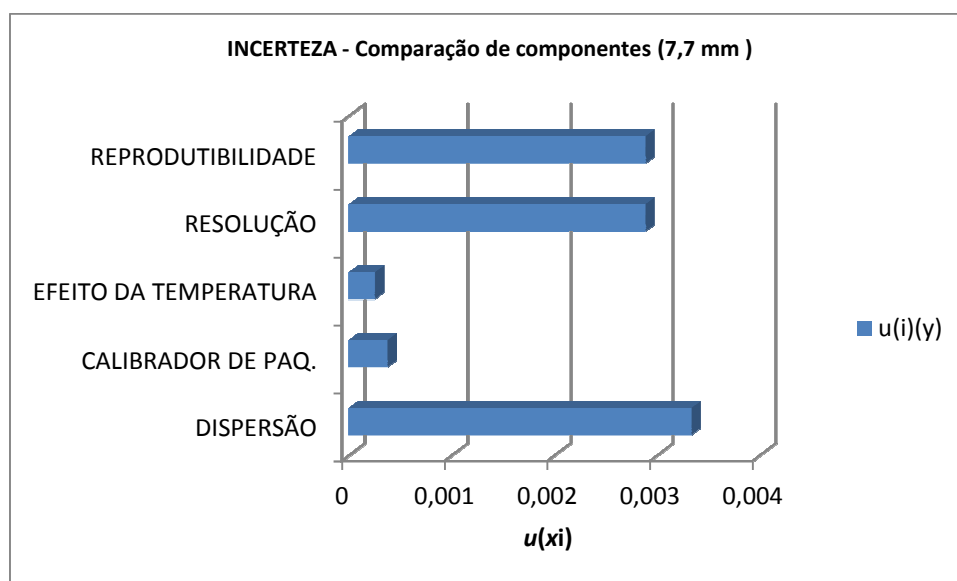


Figura 3 - Para $L=7,7$ mm $\Rightarrow U=\pm 0,011$ mm

Estimativa de incerteza em paquímetro de 150 mm

Método dinâmico

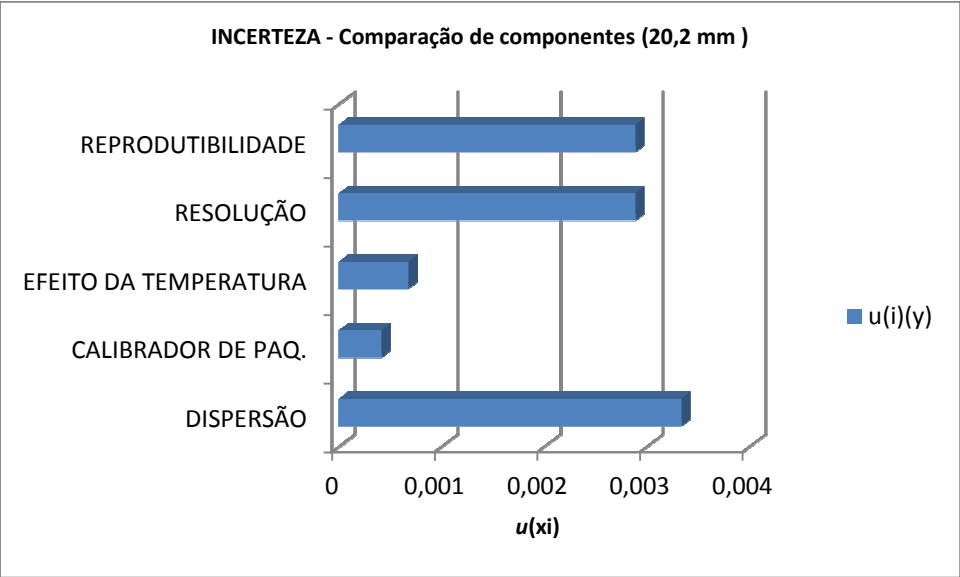


Figura 4 - Para $L=20,2\text{ mm} \Rightarrow U=\pm 0,011\text{ mm}$

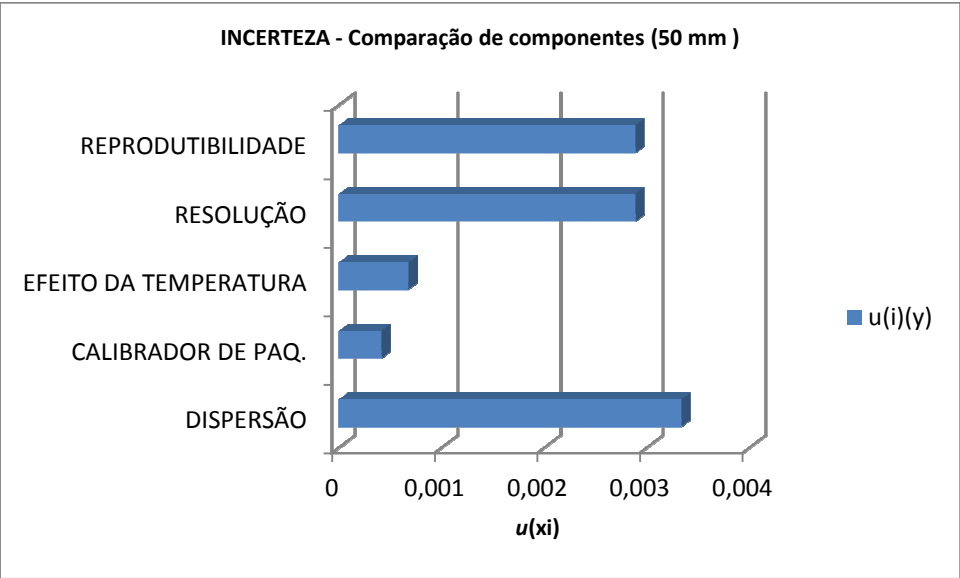


Figura 5 - Para $L=50\text{ mm} \Rightarrow U=\pm 0,012\text{ mm}$

Estimativa de incerteza em paquímetro de 150 mm

Método dinâmico

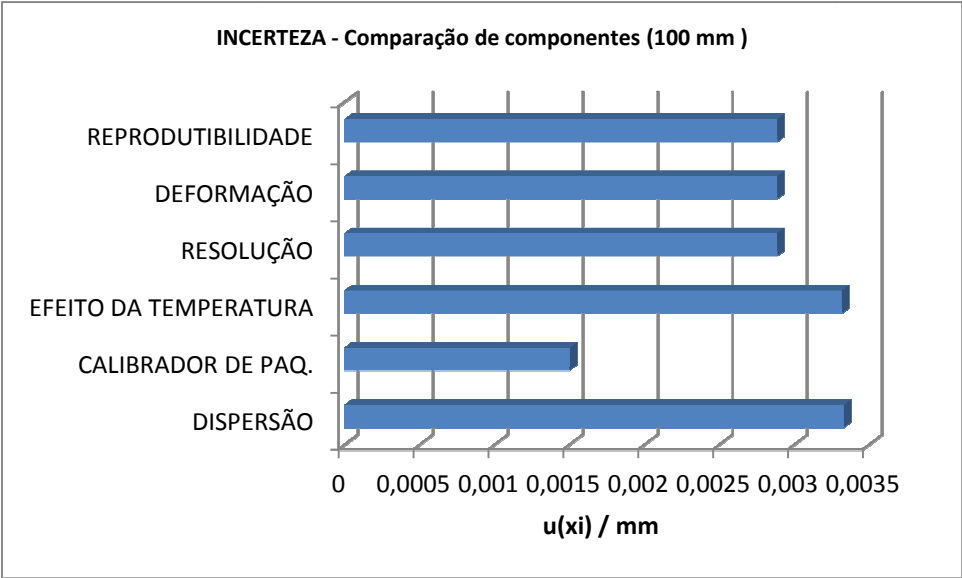


Figura 6 - Para $L=100 \text{ mm} \Rightarrow U=\pm 0,015 \text{ mm}$

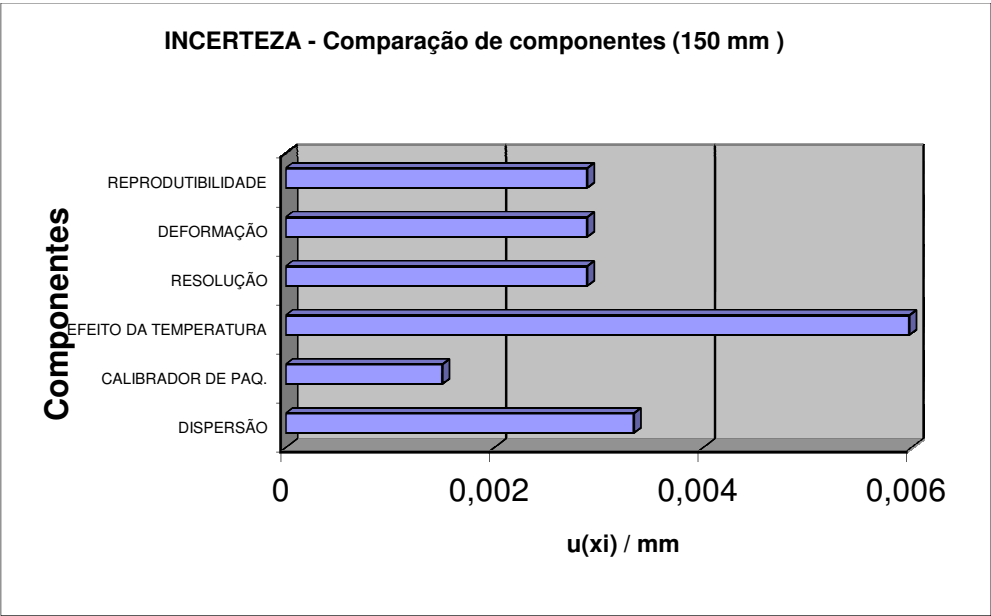


Figura 7 - Para $L=150 \text{ mm} \Rightarrow U=\pm 0,017 \text{ mm}$

Estimativa de incerteza em paquímetro de 150 mm

Método dinâmico

O resultado dos cálculos de incerteza em função da dimensão calibrada é apresentado na Tabela 1

Comprimento	Incerteza expandida
2,5	0,011
7,7	0,011
20,2	0,011
50	0,012
100	0,015
150	0,017

A expressão da incerteza pode ser agora expressa em função do comprimento, que seria conforme apresentado na figura 8:

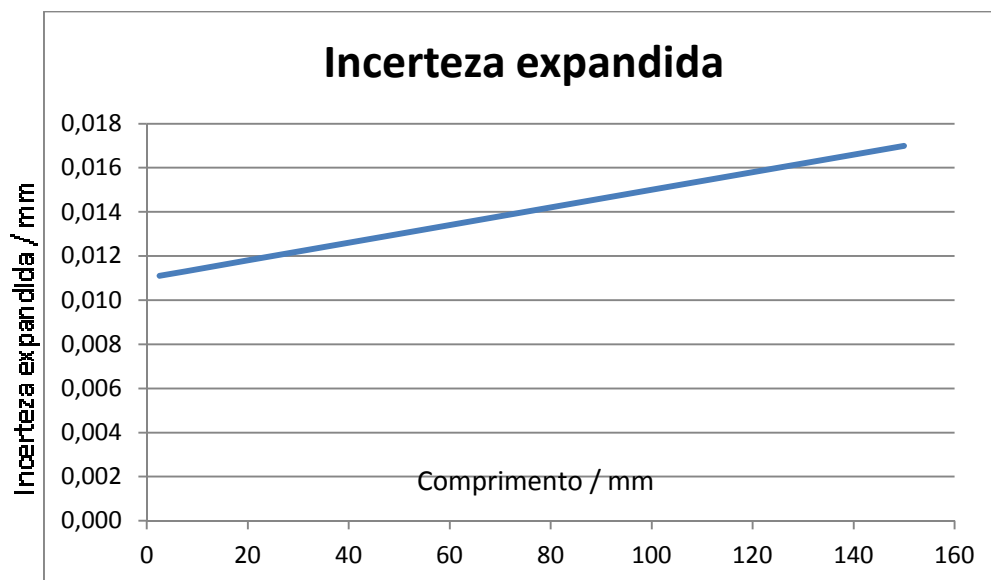
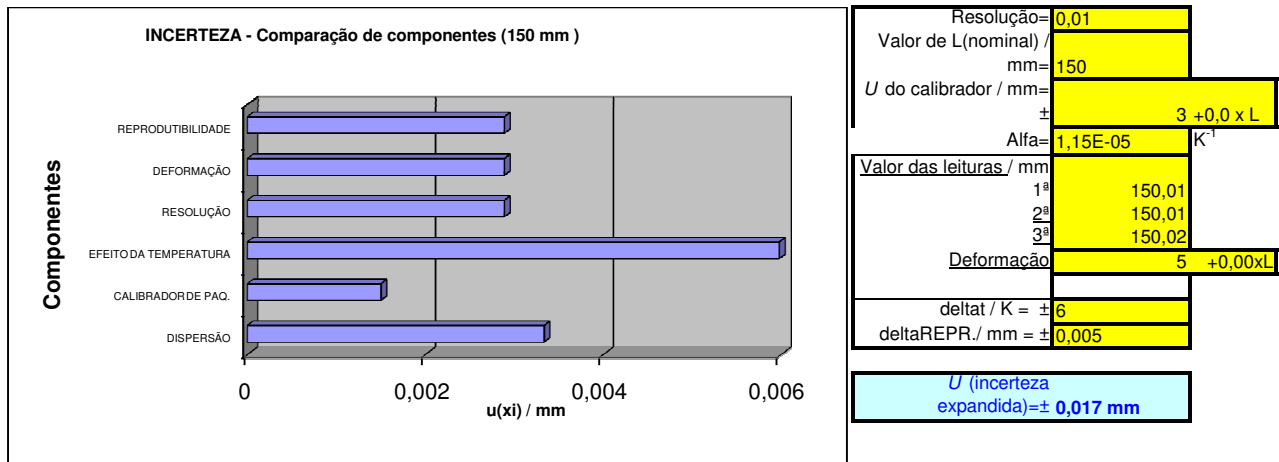


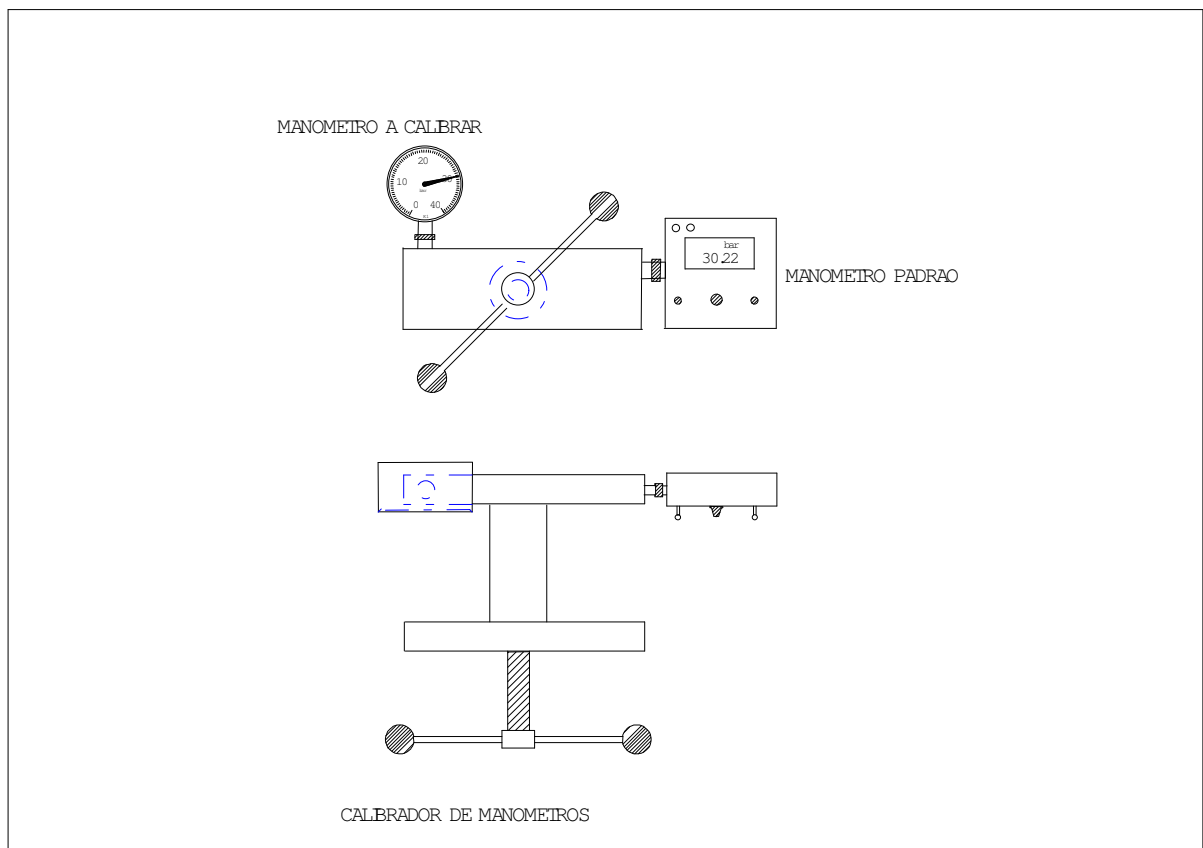
Figura 8 – Expressão da incerteza em função de L é $U = \pm(0,011+4,3E-05xL)$

De notar que este método permite alterar qualquer dado de entrada que o resultado é apresentado na mesma folha de entrada de dados.



i	Componente / descrição	Valor da grandeza / Incerteza-padrão
1	DISPERSÃO VALOR ESTIMADO DA GRANDEZA DE ENTRADA $L(médio)$ = 150,013 mm Foram feitas 3 medições repetidas. Trata-se de uma incerteza tipo A INCERTEZA PADRÃO $u_s = s / \sqrt{3}$ mm => $u_s = 3,333E-03$ mm	A
2	CALIBRADOR DE PAQUÍMETROS O calibrador de paquímetros tem $U = \pm(0,7+6,1L)$ μ m, com L em m ($k=2$). Trata-se de uma incerteza tipo B, normal. INCERTEZA PADRÃO $u_{calib} = U/2$ mm => $u_{calib} = 1,500E-03$ mm	BN
3	EFEITO DA TEMPERATURA Um estudo prévio permite considerar que a temperatura entre o paquímetro e os meios de calibração variam (ver dados de entrada). Trata-se de uma incerteza tipo B, rectangular INCERTEZA PADRÃO $u_{temp} = (\Delta T) / \sqrt{3}$ => $u_T = 3,464E+00$ K	BR
4	RESOLUÇÃO A resolução é um dado de entrada. Trata-se de uma incerteza tipo B, rectangular INCERTEZA PADRÃO $u_R = (R/2) / \sqrt{3}$ => $u_R = 2,887E-03$ mm	BR
5	REPRODUTIBILIDADE A reprodutibilidade é um dado de entrada. Trata-se de uma incerteza tipo B, rectangular INCERTEZA PADRÃO $u_{rep} = (\Delta REPR) / \sqrt{3}$ => $u_{repr} = 2,887E-03$ mm	BR
COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE RELATIVAMENTE À TEMPERATURA		
$\alpha = 11.5E-06$ K ⁻¹ $c(i) = L \cdot \alpha$ (mm.K) = 1,73E-03		

Esquema de um calibrador de manómetros.



Sistema de calibração de manómetro por comparação com um padrão de referência

1. Método de calibração

1.1. O manómetro de referência e o manómetro em calibração são montados no comparador.

1.2. Existe um cilindro com um êmbolo que é movido pela manivela, a qual é rodada, comprimindo o fluido que se encontra dentro do cilindro, que no caso presente é água.

1.3. O cilindro e os manómetros encontram-se em comunicação, pelo que a pressão exercida no cilindro transmitir-se-á aos manómetros de igual modo.

Nota: É necessário verificar se não existem fugas nas junções dos manómetros.

2. Calibração de manómetros de Bourdon, segundo EN 837-1.

2.1. Classes de exactidão: 0,1; 0,25; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0

2.2. A classe de exactidão do manómetro fornece-nos o seu erro máximo admissível. Assim, um manómetro com uma classe 1,0 terá como erro máximo admissível $\pm 1,0 \%$, expresso em percentagem da amplitude.

2.3. Para calcularmos a classe de exactidão do manómetro a calibrar em cada ponto de medida temos então:

$$\text{Erro (relativo à amplitude) (\%)} = \frac{\text{Pressão indicada} - \text{Pressão de referência}}{\text{Amplitude de medição}} \times 100$$

2.4. A temperatura de referência para a calibração é de 20 °C.

2.5. Na calibração de manómetros de classe 0,1 ; 0,25 e 0,6 a temperatura deverá ser mantida em 20 °C ± 2 °C . Para as restantes classes de exactidão a temperatura deverá ser mantida em 20 °C ± 5°C.

2.6. O teste deverá ser realizado no sentido crescente e decrescente de pressão.

2.7. Não deverá ser introduzida uma pressão superior ao alcance dos manómetros (um ligeiro valor superior é admissível para o estudo de histerese).

2.8. Os pontos de medida deverão estar regularmente distribuídos pelo alcance da escala.

- Manómetros de classe 0,1 ; 0,25 ; 0,6 , no mínimo 10 pontos de medida.
- Manómetros de classe 1,0 ; 1,6 ; 2,5, no mínimo 5 pontos de medida.
- Manómetros de classe 4, no mínimo 4 pontos de medida.

2.9. Recomenda-se que as leituras sejam feitas com uma estimativa de 1/4 a 1/10 da divisão de escala do manómetro.

2.10. O erro de histerese é calculado pela diferença de valores obtidos no sentido crescente e decrescente de pressão para o mesmo valor nominal.

3. Cálculo da incerteza global:

3.1. Exemplo prático do cálculo da incerteza da calibração de um manómetro de bourdon:

Marca: PRESS

Alcance: 0 – 1,60 bar

Divisão de escala: 0,01 bar

Classe de exactidão: 1

3.2.- Componentes que contribuem para a incerteza global da calibração:

- Repetibilidade do ensaio de exactidão.
- Incerteza do padrão.
- Erro do padrão.
- Deriva do padrão.
- Resolução do instrumento a calibrar.

Pode ainda considerar-se como componente:

- Incerteza do método (coluna de água devida à diferença de alturas).

3.3. Incerteza da Repetibilidade das Medições

Leituras (bar):

Manómetro em calibração	Manómetro	Padrão	(leituras)
	1ª	2ª	3ª
0,30	0,3048	0,3046	0,3048
0,50	0,5098	0,5076	0,5079
1,00	1,0150	1,0148	1,0146
1,30	1,3124	1,3127	1,3124
1,60	1,6075	1,6074	1,6078
1,60	1,6075	1,6079	1,6075
1,30	1,3121	1,3122	1,3125
1,00	1,0148	1,0148	1,0146
0,50	0,5070	0,5072	0,5071
0,30	0,3048	0,3050	0,3053

OUTROS DADOS:

Estimativa da resolução: de 1/10 da divisão.

A incerteza de calibração do padrão dada no certificado de calibração é $\pm 0,1\%$, com um coeficiente de expansão $K=2$.

O erro do padrão é de $\pm 0,003$ bar.

A deriva do padrão é de $\pm 0,001$ bar por ano

A incerteza associada ao método é aqui desprezada porque o padrão e o termómetro se encontravam à mesma altura.

Os cálculos são detalhadas em folha de cálculo anexa a este documento.

Resultados a fazer constar no certificado de calibração:

(Unidades em bar)

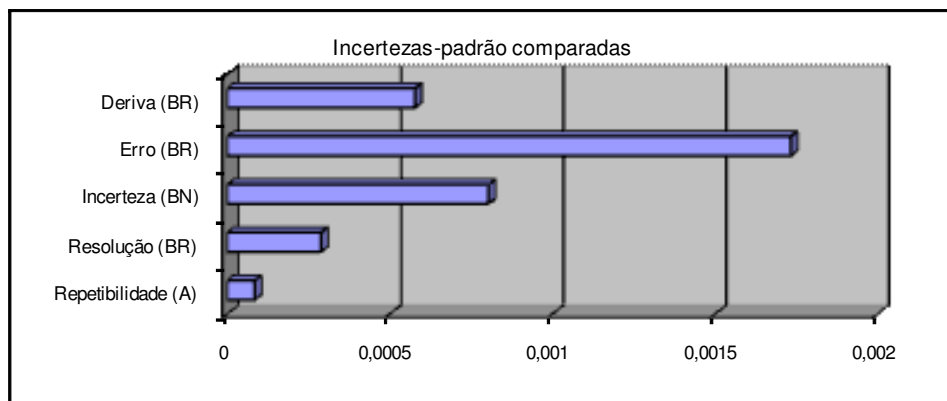
Indicação no Equipamento	Indicação no Padrão				Incerteza
	Sentido Crescente		Sentido Decrescente		
bar	bar	Erro (bar)	bar	Erro (bar)	bar
0,30	0,305	-0,005	0,305	-0,005	±0,037
0,50	0,508	-0,008	0,507	-0,007	±0,039
1,00	1,015	-0,015	1,015	-0,015	±0,038
1,30	1,313	-0,013	1,312	-0,012	±0,039
1,60	1,608	-0,008	1,608	-0,008	±0,040

Nota: a capacidade de leitura neste manómetro (resolução estimada) é de 0,1 da divisão de escala.

Erro relativo máximo = 0,94%

O manómetro tem erro compatível com a classe

Pela análise do gráfico verifica-se que a maior contribuição para a incerteza foi o erro do manómetro padrão



Número de patamares:	5
Divisão:	0,01

Unidades: bar

U - Padrão	0,10%	k=2,00
E - Padrão	0,003 bar	
Deriva-Padão	0,001 bar	
Massa	998,2	
Volúm.	kg/m ³	
Altura ± 0	m	

CRESCENTE

Manóm. (indic.)	MANÓMETRO PADRÃO (bar)					INSTRUMENTO EM CALIBRAÇÃO										
	1ª Leitura	2ª Leitura	3ª Leitura	MÉDIA		Repetibilidade (A)						Resolução (BR)				
						média	desv.pad	u(xi)	ci	u(xi)*ci	GL	u(xi)	ci	u(xi)*ci	GL	
0,30	0,3048	0,3046	0,3048	0,305		0,304733333	9,428E-05	4,71405E-05	1	4,71E-05	3	0,001	0,000289	1	0,000289	1E+20
0,50	0,5098	0,5076	0,5079	0,508		0,508433333	0,0009741	0,000487055	1	0,000487	3	0,001	0,000289	1	0,000289	1E+20
1,00	1,015	1,0148	1,0146	1,015		1,0148	0,0001633	8,16497E-05	1	8,16E-05	3	0,001	0,000289	1	0,000289	1E+20
1,30	1,3124	1,3127	1,3124	1,313		1,3125	0,0001414	7,07107E-05	1	7,07E-05	3	0,001	0,000289	1	0,000289	1E+20
1,60	1,6075	1,6074	1,6078	1,608		1,607566667	0,00017	8,49837E-05	1	8,5E-05	3	0,001	0,000289	1	0,000289	1E+20

DECRESCENTE

Manóm. (indic.)	MANÓMETRO PADRÃO (bar)				INSTRUMENTO EM CALIBRAÇÃO											
	1ª Leitura	2ª Leitura	3ª Leitura	MÉDIA	Repetibilidade (A)						Resolução (BR)					
					média	desv.pad	u(xi)	ci	u(xi)*ci	GL	u(xi)	ci	u(xi)*ci	GL		
0,30	0,3048	0,305	0,3053	0,305		0,305033333	0,0002055	0,00010274	1	0,000103	3	0,001	0,000289	1	0,000289	1E+20
0,50	0,507	0,5072	0,5071	0,507		0,5071	8,165E-05	4,08248E-05	1	4,08E-05	3	0,001	0,000289	1	0,000289	1E+20
1,00	1,0148	1,0148	1,0146	1,015		1,014733333	9,428E-05	4,71405E-05	1	4,71E-05	3	0,001	0,000289	1	0,000289	1E+20
1,30	1,3121	1,3122	1,3125	1,312		1,312266667	0,00017	8,49837E-05	1	8,5E-05	3	0,001	0,000289	1	0,000289	1E+20
1,60	1,6075	1,6079	1,6075	1,608		1,607633333	0,0001886	9,42809E-05	1	9,43E-05	3	0,001	0,000289	1	0,000289	1E+20

Manóm. (indic.)	PADRÃO																	
	Incerteza (BN)						Erro (BR)					Deriva (BR)					u(comb.)	
	U	k	u(xi)	ci	u(xi)*ci	GL	E	u(xi)	ci	u(xi)*ci	GL	u(xi)	ci	u(xi)*ci	GL			
	0,30	0,0003	k=2,00	0,00015	1	0,0002	50	0,003	0,001732051	1	0,001732051	1E+20	0,001	0,00057735	1	0,00057735		1E+20
	0,50	0,0005	k=2,00	0,00025	1	0,0003	50	0,003	0,001732051	1	0,001732051	1E+20	0,001	0,00057735	1	0,00057735		1E+20
	1,00	0,001	k=2,00	0,00051	1	0,0005	50	0,003	0,001732051	1	0,001732051	1E+20	0,001	0,00057735	1	0,00057735		1E+20
1,30	0,0013	k=2,00	0,00066	1	0,0007	50	0,003	0,001732051	1	0,001732051	1E+20	0,001	0,00057735	1	0,00057735	1E+20		
1,60	0,0016	k=2,00	0,00080	1	0,0008	50	0,003	0,001732051	1	0,001732051	1E+20	0,001	0,00057735	1	0,00057735	1E+20		

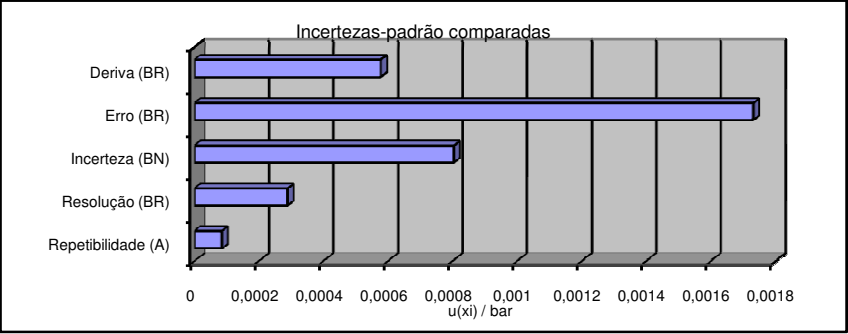
Manóm. (indic.)	PADRÃO																	
	Incerteza (BN)						Erro (BR)					Deriva (BR)					u(comb.)	
	U	k	u(xi)	ci	u(xi)*ci	GL	E	u(xi)	ci	u(xi)*ci	GL	u(xi)	ci	u(xi)*ci	GL			
	0,30	0,0003	k=2,00	0,0002	1	0,0002	50	0,003	0,001732051	1	0,001732051	1E+20	0,001	0,00057735	1	0,00057735		1E+20
	0,50	0,0005	k=2,00	0,0003	1	0,0003	50	0,003	0,001732051	1	0,001732051	1E+20	0,001	0,00057735	1	0,00057735		1E+20
	1,00	0,001	k=2,00	0,0005	1	0,0005	50	0,003	0,001732051	1	0,001732051	1E+20	0,001	0,00057735	1	0,00057735		1E+20
1,30	0,0013	k=2,00	0,0007	1	0,0007	50	0,003	0,001732051	1	0,001732051	1E+20	0,001	0,00057735	1	0,00057735	1E+20		
1,60	0,0016	k=2,00	0,0008	1	0,0008	50	0,003	0,001732051	1	0,001732051	1E+20	0,001	0,00057735	1	0,00057735	1E+20		

Manóm. (indic.)	v(ef)	k	U(expand)
0,30	1E+06	2,000	3,7E-03
0,50	7E+02	2,003	3,9E-03
1,00	1E+04	2,000	3,8E-03
1,30	4E+03	2,001	3,9E-03
1,60	2E+03	2,001	4,0E-03

para o Gráfico

Repetibilidade (A)	8,5E-05
Resolução (BR)	0,000289
Incerteza (BN)	0,000804
Erro (BR)	0,001732
Deriva (BR)	0,000577

Manóm. (indic.)	v(ef)	k	U(expand)
0,30	2E+05	2,000	3,7E-03
0,50	1E+05	2,000	3,7E-03
1,00	1E+04	2,000	3,8E-03
1,30	4E+03	2,001	3,9E-03
1,60	2E+03	2,001	4,0E-03



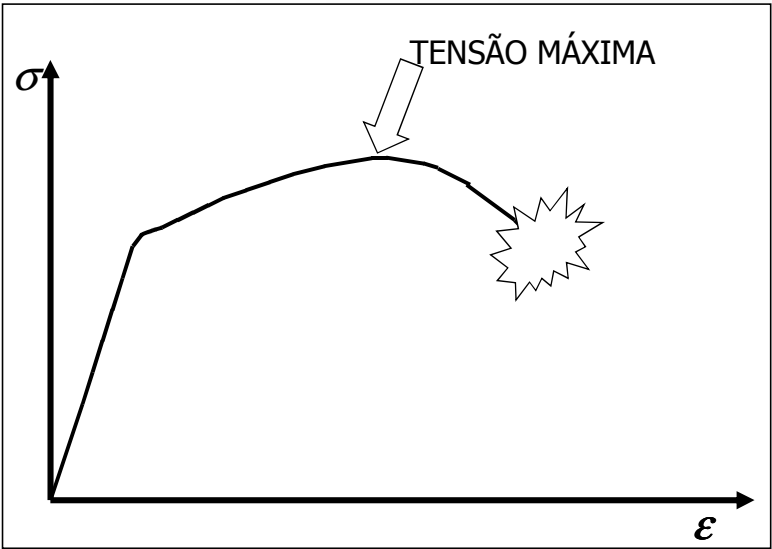
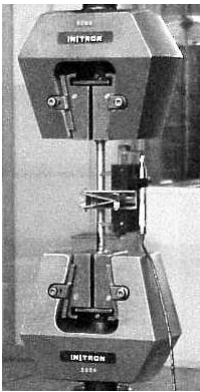
-

Carlos Sousa

Cálculo de incerteza da
tensão de rotura

ANEXO 12

Tensão
de
rotura
de um
aço



RELEMBRANDO:

A tensão de rotura é determinada:

- recorrendo à força máxima que ocorre no ensaio de tracção...
- e à área inicial da secção da zona de ensaio.



Dados:

- Força máxima (F_m) = 28 450 N
- Erro máximo admissível da máquina de ensaio de tracção (EMA) = $\pm 0,5\%$
- Incerteza do paquímetro ($U_{\text{paquímetro}}$) = $\pm 15 \mu\text{m}$
- diâmetro do provete em mm (d_0):
9,23; 9,25; 9,21; 9,23; 9,23 ($d_{0(\text{médio})} = 9,23 \text{ mm}$)

IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES DE INCERTEZA:


- 1- O erro máximo admissível da máquina de tracção (EMA);**
- 2 - A incerteza do paquímetro;**
- 3 - A repetibilidade das medições do diâmetro do provete.**

CLASSIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DE INCERTEZA:

- 1- $EMA_{MÁQUI.} \Rightarrow$ TIPO B-RECTANGULAR (B-R)
- 2 - paquímetro \Rightarrow TIPO B-NORMAL (B-N)
- 3 - Diâmetro (Repetibilidade) \Rightarrow TIPO A

MODELO MATEMÁTICO:

A tensão de rotura é calculada através da seguinte expressão:


$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$
$$R_m = \frac{4 \cdot F_m}{\pi \cdot d^2}$$

R_m - tensão de rotura
 F_m - força máxima
 S_0 - secção de ensaio
 d_0 - diâmetro inicial

MODELO MATEMÁTICO

**unidades:
N e mm**

COEFICIENTES DE SENSIBILIDADE:

São as derivadas parciais de $R_m = f(F_m, d_0)$

$$\frac{\partial R_m}{\partial F_m} = \frac{4}{\pi \cdot d^2} = \frac{4}{\pi \cdot 9,23^2} = 0,0149 \text{ mm}^{-2}$$
$$\frac{\partial R_m}{\partial d_0} = \frac{-8 \cdot F_m}{\pi \cdot d^3} = \frac{-8 \times 28\,450}{\pi \times 9,23^3} = -92,1 \text{ N.mm}^{-3}$$

						unidades: N; mm; MPa
QUADRO DE CÁLCULO:						
i	Grandeza/ componente	Estimativa	tipo	u(xi)	c (i)	$[u(xi) \cdot c(i)]^2$ $u_i^2(y)$
1	Força (máquina)	28 450	B-R	82,1 N	0,0149 mm ⁻²	1,51 MPa ²
2	diâmetro (paquímetro)	-----	B-N	0,0075 mm	92,1 N.mm ⁻³	0,477 MPa ²
3	diâmetro (repetib.)	9,23	A	6,32E-3 mm	92,1 N.mm ⁻³	0,340 MPa ²
$R_m =$		425,2 MPa			$u^2(y)$	2,32 MPa ²

CÁLCULO DA INCERTEZA
COMBINADA

unidades:
N; mm; MPa

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^3 c_i^2 \times u^2(x_i)$$
$$u^2(y) = 2,32 \text{ MPa}^2$$
$$u(y) = 1,52 \text{ MPa}$$

incerteza
combinada

CÁLCULO DA INCERTEZA
EXPANDIDA

unidades:
N; mm; MPa

CONSIDERANDO $k=2$

$$U = \pm 2 \times 1,52 \text{ MPa}$$
$$U = \pm 3,0 \text{ MPa}$$

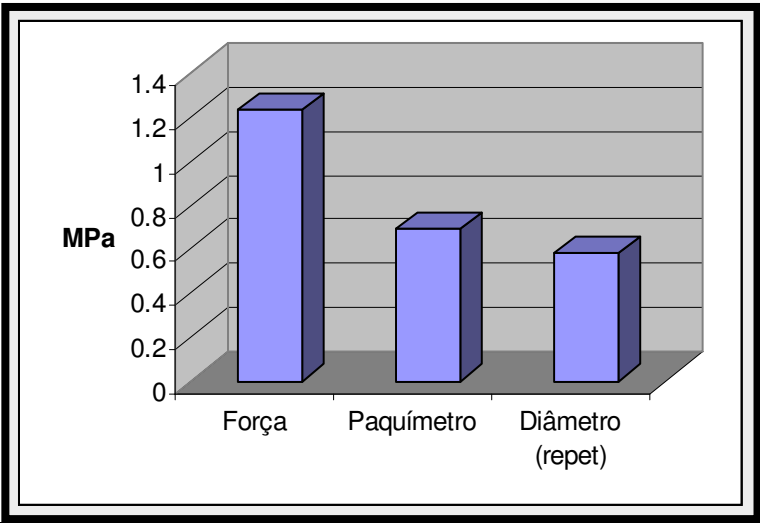
incerteza
expandida

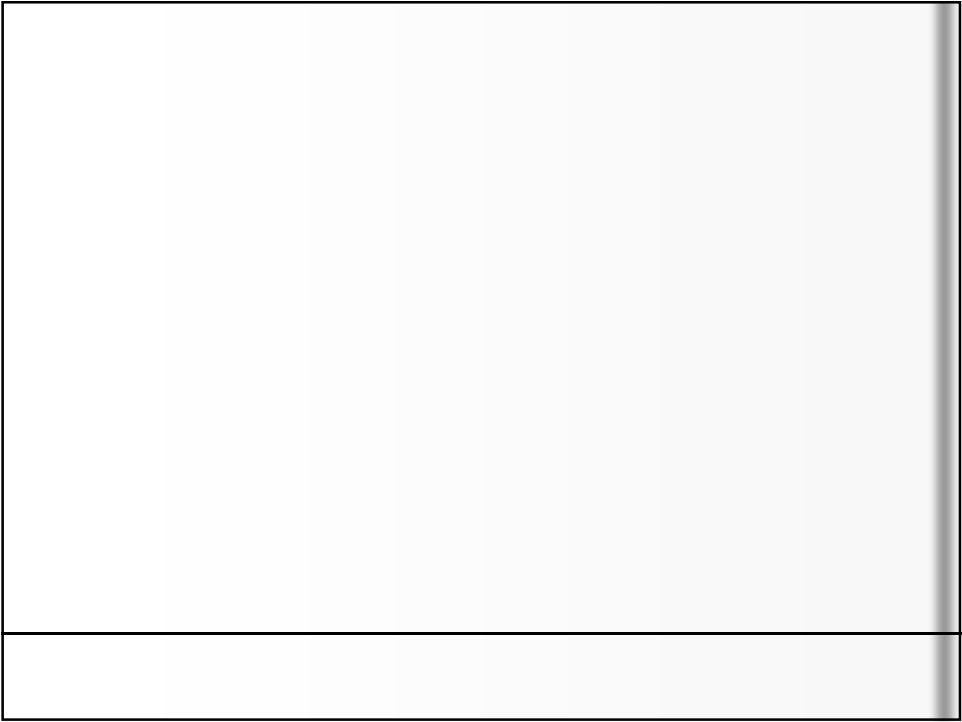
**EXPRESSÃO COMPLETA DO
RESULTADO**

$$R_m = (425 \pm 3) \text{ MPa}$$

[com $k=2$]

**COMPARAÇÃO DO PESO DE CADA
COMPONENTE PARA $u(y)$**





Cadernos Técnicos Carlos Sousa

Decreto-Lei 128/2010

**(SISTEMA INTERNACIONAL
DE UNIDADES)**



Dez° 2010

Índice

Capítulo	Título	Página
	Siglas	3
1	Generalidades	4
2	O Decreto-Lei nº 128/2010	4
3	Unidades de Base do SI	5
4	Símbolo especial de temperatura (grau Celsius)	8
5	Unidades SI Derivadas	9
5.1	Unidades de ângulo (derivadas)	9
5.2	Unidades de ângulo (derivadas)	10
5	Prefixos e Símbolos	11
6.1	Múltiplos e Submúltiplos Decimais	11
6.2	Múltiplos decimais com nomes especiais	12
7	Unidades (não múltiplos ou submúltiplos SI)	12
8	Unidades Definidas de Modo Independente do SI	13
9	Unidades Admitidas em Domínios Especializados	13
10	Regras de Escrita	14
	Bibliografia	16

Siglas

ASAE - Autoridade de Segurança Alimentar e Económica
BIPM – Bureau International de Poids e Mesures
CGPM – Conferência Geral de Pesos e Medidas
IPQ – Instituto Português da Qualidade
SI – Sistema Internacional de Unidades

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

1 - Generalidades

A existência de um único sistema de unidades que internacionalmente permita um diálogo técnico uniforme onde se fale de dimensões sem recurso a conversões mais ou menos complexas, continua a ser um objectivo ainda não alcançado universalmente.

No entanto, muito já foi feito e em muitos países foi já adoptado o mais importante sistema de unidades, aquele que prima pela sua coerência e que rege já a maior parte de negócios e actividades técnicas de todo o mundo. Falamos do Sistema Internacional de Unidades (SI), assim designado pela Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM).

2 - O Decreto-Lei 128/2010 [1]

O diploma tem 6 artigos que na sua globalidade alteram e revogam artigos do decreto-lei 238/94 e os decretos-lei e rectificações publicados em 1995 e 2002. São definidas regras disciplinadoras da utilização do SI e é publicado um novo anexo que mantém o essencial do anexo do decreto-lei 238/94, mas tem cinco pontos de que convém assinalar correspondentes a actualizações significativas ao decreto-lei de 1994:

Em **primeiro lugar**, permite a continuidade da utilização de indicações suplementares¹ sem prazo definido (ver caixa com texto do decreto-lei 238/94).

Em **segundo lugar**, procede à inclusão das decisões da CGPM relativas à eliminação da classe de unidades suplementares² SI, como uma classe separada.

¹ Quando é dito que a indicação numa unidade de medida do SI deve prevalecer sobre indicações expressas noutras unidades, significa que se, por exemplo, escrevermos o valor de uma força em kgf, isso deverá ser colocado após ter escrito na unidade SI, newton, apresentando-se a indicação de kgf em caracteres de dimensões inferiores [exemplo: $F=105\text{ N (10,7 kgf)}$]

² A 20ª CGPM, de Outubro de 1995, na sua 8ª Resolução, decidiu eliminar a classe de unidades suplementares, passando estas a ser consideradas unidades derivadas

Em **terceiro lugar**, procede à interpretação das unidades «radiano» e «esterradiano» como unidades SI sem dimensão.

Em **quarto lugar**, procede à introdução da unidade de medida do SI «katal» para expressar a actividade catalítica.

Em **quinto lugar**, procede à introdução de uma nota sobre a definição do «kelvin» para eliminar uma das maiores fontes da variação observada entre realizações do ponto triplo da água.

É importante não confundir “indicação suplementar” com “unidade suplementar”

3 - Unidades de Base do SI:

Grandeza	Unidade	
	Nome	Símbolo
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Intensidade de corrente eléctrica	ampere	A
Temperatura termodinâmica	kelvin	K
Quantidade de matéria	mole	mol
Intensidade luminosa	candela	cd

Definições das Unidade SI de Base:

Unidade de comprimento (**metro**):

O metro é o comprimento do trajecto percorrido no vazio pela luz durante

$\frac{1}{299\,792\,458}$ do segundo

(17ª CGPM - 1983 - Resolução nº 1)

Unidade de massa (**quilograma**):

O quilograma é a unidade de massa; é igual à massa do protótipo internacional do quilograma.

(3.^a CGPM - 1901 - p. 70 das actas.)

Unidade de tempo (**segundo**):

O segundo é a duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133.

(13.^a CGPM – 1967/68 - Resolução n.º 1)

Unidade de intensidade de corrente eléctrica (**ampere**):

O ampere é a intensidade de uma corrente constante que, mantida em dois condutores paralelos, rectilíneos, de comprimento infinito, de secção circular desprezável, e colocados à distância de 1 m um do outro no vazio, produziria entre estes condutores uma força igual a 2×10^{-7} newton por metro de comprimento.

(9.^a CGPM – 1948 - Resolução n.º 2)

Unidade de temperatura termodinâmica (**kelvin**):

O kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é a fracção $\frac{1}{273,16}$ da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água.

Esta definição diz respeito à água com composição isotópica definida pelos seguintes rácios de quantidade de matéria: 0,000 155 76 mole de ^2H por mole de ^1H , 0,000 379 9 mole de ^{17}O por mole de ^{16}O e 0,002 005 2 mole de ^{18}O por mole de ^{16}O .

(13ª CGPM – 1967/68 - Resolução nº 4 e 23ª CGPM de 2007 – Resolução nº 10)

Unidade de quantidade de matéria (**mole**):

A mole é a quantidade de matéria de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos os átomos que existem em 0,012 kg de carbono 12; o seu símbolo é «mol».

Quando se utiliza a mole, as entidades elementares devem ser especificadas e podem ser átomos, moléculas, iões, electrões, outras partículas ou agrupamentos especificados de tais partículas.

(14ª CGPM - 1971 - Resolução nº 3)

Unidade de intensidade luminosa (**candela**):

A candela é a intensidade luminosa, numa direcção dada, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência de 540×10^{12} Hz e cuja intensidade energética nessa direcção é de $\frac{1}{683}$ W por esterradiano.

(16ª CGPM - 1979 - Resolução nº 3)

4 - Símbolo especial de temperatura (grau Celsius)

Grandeza	Unidade	
	Nome	Símbolo
Temperatura Celsius	grau Celsius	°C

A temperatura Celsius t é definida pela diferença $t = T - T_0$ entre duas temperaturas termodinâmicas T e T_0 com $T_0 = 273,15$ K, ponto de congelação da água. Um intervalo ou uma diferença de temperatura podem exprimir-se quer em kelvin quer em grau Celsius.

A unidade de grau Celsius é igual à unidade kelvin.

Se $t_1 = 10^\circ \text{C}$ (283,15 K) e $t_2 = 11^\circ \text{C}$ (284,15 K), então $t_2 - t_1 = (11 - 10)^\circ \text{C} = 1^\circ \text{C}$
e $T_2 - T_1 = (284,15 - 283,15) \text{ K} = 1 \text{ K}$
Logo, o valor numérico da diferença entre a temperatura 2 e a temperatura 1 é 1°C e 1 K .

Dizer "grau centígrado" quando nos referimos a uma temperatura é errado, pois tal termo não existe actualmente no vocabulário relacionado com temperaturas (o termo "Celsius" foi adoptado em 1948). Centígrado é a centésima parte do grado, que é uma unidade de ângulo!



5 - Unidades SI Derivadas

5.1 - Unidades SI Derivadas (com nomes e Símbolos Especiais)

As unidades derivadas de modo coerente das unidades do SI são dadas por expressões algébricas sob a forma de produtos de potências de unidades SI com o factor numérico 1

Grandeza	Unidade		Expressão	
	Nome	Símbolo	Em outras unidades SI	Em unidades SI de base ou suplementares
Ângulo plano	(a) radiano	rad	(b) 1	$\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$
Ângulo sólido	(a) esterradiano	(b) sr	(b) 1	$\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$
Frequência	hertz	Hz	-	s^{-1}
Força	newton	N	-	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
Pressão e tensão	pascal	Pa	$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
Energia, trabalho, quantidade de calor	joule	J	$\text{N} \cdot \text{m}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
Potência (c), fluxo magnético	watt	W	$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
Quantidade de electricidade, carga eléctrica	coulomb	C	-	$\text{s} \cdot \text{A}$
Diferença de potencial eléctrico, força electromotriz	volt	V	$\text{W} \cdot \text{A}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$
Resistência eléctrica	ohm	Ω	$\text{V} \cdot \text{A}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}$
Condutância eléctrica	siemens	S	$\text{A} \cdot \text{V}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^2$
Capacidade eléctrica	farad	F	$\text{C} \cdot \text{V}^{-1}$	$\text{m}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^4 \cdot \text{A}^2$
Fluxo de indução magnético	weber	Wb	$\text{V} \cdot \text{s}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
Indução Magnética	tesla	T	$\text{Wb} \cdot \text{m}^{-2}$	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
Indutância	henry	H	$\text{Wb} \cdot \text{A}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$
Temperatura Celsius	(d) grau Celsius	$^{\circ}\text{C}$		K
Fluxo luminoso	lúmen	lm	(b) $\text{cd} \cdot \text{sr}$	cd
Iluminação	lux	lx	$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$	$\text{m}^{-2} \cdot \text{cd}$
Actividade de um radionucleído	becquerel	Bq	-	s^{-1}
Dose absorvida, energia mássica, kerma	gray	Gy	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
Equivalente de dose, equivalente de dose ambiental, equivalente de dose direcciona, equivalente de dose individual	sievert	Sv	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
Actividade catalítica	katal	kat		$\text{s}^{-1} \cdot \text{mol}$

(a) O radiano e o esterradiano podem ser úteis nas expressões das unidades derivadas, para distinguir grandezas de natureza diferente com a mesma dimensão.

(b) Só se emprega, na prática e quando é útil, os símbolos rad e sr, mas a unidade derivada «1» é geralmente omitida em combinação com um valor numérico. Em fotometria, mantém-se em geral o nome e o símbolo do esterradiano, sr, na expressão das unidades.

(c) Nomes especiais da unidade de potência; o nome «voltampere» (símbolo «VA»), para exprimir a potência aparente da corrente eléctrica alternada, e o nome «var» (símbolo «var»), para exprimir a potência eléctrica reactiva. Os nomes «voltampere» e «var» não estão incluídos nas resoluções da CGPM.

(d) Esta unidade pode ser utilizada em associação com os prefixos SI, como por exemplo para exprimir o submúltiplo miligrau Celsius, m°C .

5.2 - Unidades de ângulo (derivadas)

As unidades de ângulo - **radiano** e **esterradiano** - foram consideradas até 1995 como sendo unidades **suplementares**.

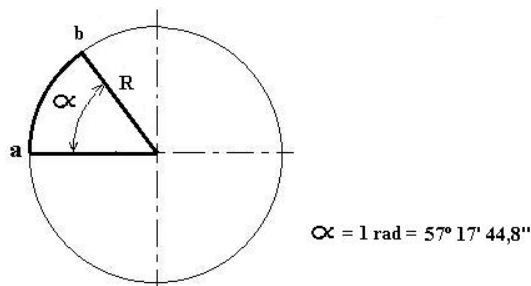
Mas, tal como atrás já foi referido, a 20^a CGPM, de Outubro de 1995, na sua 8^a Resolução, decidiu eliminar a classe de unidades suplementares, passando estas a ser consideradas unidades derivadas.

Dada a sua importância, faz-se novamente chamada destas unidades, fazendo transcrição das respectivas definições:

Unidade de ângulo plano (**radiano**) - símbolo **rad**

O **radiano** é o ângulo compreendido entre dois raios de um círculo que intersectam, na circunferência, um arco de comprimento igual ao do raio.

(11 CGPM - 1960 - Resolução nº 12)



Unidade de ângulo sólido (**esterradiano**) - símbolo **sr**

O **esterradiano** é o ângulo sólido de um cone que, tendo o vértice no centro de uma esfera, intersecta na superfície dessa esfera uma área igual à de um quadrado cujo lado tem um comprimento igual ao do raio da esfera.

(11 CGPM - 1960 - Resolução nº 12)

6 - Prefixos e Símbolos

6.1 - Múltiplos e Submúltiplos Decimais

Factor	Prefixo	Símbolo	Factor	Prefixo	Símbolo
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	mili	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	μ
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^9	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^6	mega	M	10^{-15}	fento	f
10^3	quilo	k	10^{-18}	atto	a
10^2	hecto	h	10^{-21}	zepto	z
10^1	deca	da	10^{-24}	yocto	y

De notar que todos os múltiplos ou submúltiplos são indicados justapondo o respectivo prefixo à unidade de base ou derivada, excepto a unidade de massa que se formam pela junção dos prefixos à palavra “grama” (kg, hg, mg).

6.2 - Múltiplos decimais com nomes especiais

Alguns múltiplos decimais com nomes especiais são autorizados, conforme indicado na tabela seguinte:

Grandeza	Unidade		
	Nome	Símbolo	Valor
Volume	litro	(a) l, L	$1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$
Massa	tonelada	t	$1 \text{ t} = 1 \text{ Mg} = 10^3 \text{ kg}$
Pressão e tensão	bar	bar	$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

(a) Os dois símbolos «l» e «L» podem ser usados para a unidade litro, foram adoptados respectivamente pelo CIPM de 1879 e pela Resolução n.º 6 da 16.ª CGPM de 1979.

Com as unidades desta tabela podem utilizar-se os prefixos decimais de 7.1

7 - Unidades (não múltiplos ou submúltiplos SI)

Existem unidades adoptadas legalmente que são relacionadas com unidades do SI, mas que não são múltiplos ou submúltiplos decimais. Na tabela seguinte são indicadas essas unidades.

Grandeza	Unidade		
	Nome	Símbolo	Valor
Ângulo plano	grau	°	$1^\circ = (\pi/180) \text{ rad}$
	minuto de ângulo	'	$1' = (1/60)^\circ = (\pi/10\,080) \text{ rad}$
	segundo de ângulo	''	$1'' = (1/60)' = (\pi/648\,000) \text{ rad}$
Tempo	minuto	min	$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$
	hora	h	$1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$
	dia	d	$1 \text{ d} = 24 \text{ h} = 86\,400 \text{ s}$

8 - Unidades Definidas de Modo Independente do SI

(Estas unidades são utilizadas com o SI – valores obtidos experimentalmente)

Grandeza	Unidade		
	Nome	Símbolo	Valor
Massa	unidade de massa atómica	u	$1 \text{ u} \approx 1,660\,540\,2(10) \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Energia	electrão-volt	eV	$1 \text{ eV} \approx 1,602\,177\,33(49) \cdot 10^{-19} \text{ J}$

O valor destas unidades é obtido experimentalmente

9 - Unidades Admitidas em Domínios Especializados

Grandeza	Unidade		
	Nome	Símbolo	Valor
Vergência (sistemas ópticos)	dioptria	-	$1 \text{ dioptria} = 1 \text{ m}^{-1}$
Massa de pedras preciosas	carat métrico	-	$1 \text{ carat métrico} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$
Área ou superfície (terrenos agrícolas e para construção)	are	a	$1 \text{ a} = 10^2 \text{ m}^2$
Massa linear das fibras têxteis e dos fios	tex	tex	$1 \text{ tex} = 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$
Pressão sanguínea e pressão de outros fluídos corporais	milímetro de mercúrio	mm Hg	$1 \text{ mm Hg} = 132,322 \text{ Pa}$
Secção eficaz	barn	b	$1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$

As unidades e símbolos do quadro acima podem ser usadas com os prefixos de múltiplos e submúltiplos, exceptuando o mm Hg.

O múltiplo 10^2 a é denominado **ha** (hectare).

10 - Regras de Escrita

1. Os **símbolos** das unidades são impressos em caracteres romanos direitos, em geral escritos com letras minúsculas. Se o nome da unidade resulta de um nome próprio, a primeira letra do símbolo é maiúscula;

	Correcto	Incorrecto
quilograma	kg	<i>kg</i>
kelvin	K	k
pascal	Pa	pa

2. Os **símbolos** das unidades são invariáveis no plural;

	Correcto	Incorrecto
5 quilogramas	5 kg	5 kgs
10 metros	10 m	10 mts
27 Litros	27 L	27 Lts

Deve fazer-se notar que os nomes das unidades são utilizados no plural quando o valor numérico é igual ou superior a 2.

Exemplos:

1,5 quilograma; 2 quilogramas; 0,3 metro; 50 quilómetros

3. Os **símbolos** das unidades não são seguidos por um ponto;

Correcto	Incorrecto
5 kg de aço	5 kg. de aço
10 m de distância	10 m. de distância
27 L de vinho	27 L. de vinho

De notar que o ponto pode surgir quando se referir a pontuação relativa a limite de período ou parágrafo. Exemplo: "Esta frase lê-se em 3 s. Pausadamente, pode demorar 6 s, ou ainda mais."

4. O produto de duas ou mais unidades pode ser indicado ligadas por um ponto ou com um intervalo ente os respectivos símbolos:

N·m ou N m

5. Quando uma unidade derivada é formada dividindo uma unidade por outra, pode utilizar-se uma barra oblíqua "/", uma barra horizontal "—", ou expoentes negativos:

m/s

$\frac{m}{s}$

$m \cdot s^{-1}$

6. Não deve ser utilizada na mesma linha mais do que uma barra oblíqua, a menos que se utilizem parênteses. Exemplos:

Correcto		Incorrecto
m/s^2	$m \cdot s^{-2}$	$m/s/s$
$m^2 \cdot kg/(s^3 \cdot A)$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg/s^3/A$

7. Os símbolos dos prefixos são impressos em caracteres romanos direitos. Não deve deixar-se espaço entre o símbolo do prefixo e o símbolo da unidade.

Exemplo: 1 ms (milisegundo) e não m s

8. O conjunto de um prefixo e um símbolo de unidade constituem um novo símbolo que pode ser elevado a uma potência e que pode ser combinado com outros símbolos para formar símbolos de unidades compostas.

1 cm^3	$(10^{-2} \text{ m})^3$	10^{-6} m^3
1 cm^{-1}	$(10^{-2} \text{ m})^{-1}$	10^2 m^{-1}

9. Não são empregues prefixos compostos pela justaposição de vários prefixos.

Exemplo:

1 nm e não 1mμm

10. Um prefixo não pode ser empregue sem uma unidade a que se refira:

$10^6 / m^3$ e não M/m^3

BIBLIOGRAFIA

[1] – Decreto-Lei nº 128/2010, de 3 de Dezembro (Sistema de Unidades de Medida Legais para todo o território português)

[2] – Almeida, Guilherme de – Sistema Internacional de Unidades (SI) – Grandezas e Unidades Físicas, terminologia, símbolos e recomendações – Plátano, Edições Técnicas – 3ª Edição, Abril de 2002

[3] – Le Système international d'unités – 8e édition 2006 - Édité par le BIPM, Pavillon de Breteuil, F-92312 Sèvres Cedex, France.

Imprimé par : STEDI Media, Paris ISBN 92-822-2213-6

http://www.bipm.org/utis/common/pdf/si_brochure_8.pdf